

**DISEÑO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA
CAPACIDAD OPERATIVA DEL DESCARGUE DE CARBÓN POR
TRACTOMULAS EN LA EMPRESA CARBOSAN LTDA. EN EL PUERTO DE
SANTA MARTA.**

**Katerina Acosta Martínez.
Linda Liliana Mendoza Rodríguez.**

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTA MARTA D.T.C.H.
2009.**

**DISEÑO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN PARA EL ANÁLISIS DE LA
CAPACIDAD OPERATIVA DEL DESCARGUE DE CARBÓN POR
TRACTOMULAS EN LA EMPRESA CARBOSAN LTDA. EN EL PUERTO DE
SANTA MARTA.**

Katerina Acosta Martínez.

Linda Liliana Mendoza Rodríguez.

**Proyecto de investigación presentado como requisito para optar al título de
INGENIERO INDUSTRIAL.**

Director.

JUAN CARLOS CABARCAS REYES.

Ingeniero Industrial.

**UNIVERSIDAD DEL MAGDALENA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
SANTA MARTA D.T.C.H.**

2009

NOTA DE ACEPTACIÓN.

**Firma del Director del Trabajo de
Grado.**

Firma del Jurado.

Firma del Jurado.

Santa Marta, Junio 24 de 2009.

AGRADECIMIENTOS.

En primer lugar a Dios, por darnos las fuerzas para no desfallecer...

Muy especialmente a **Ángel Mario Gullo Soto** por su inmensurable colaboración, su aporte fue muy valioso en la consecución de este logro. Al Subdirector de Operaciones de CARBOSÁN **José Poveda Benssan** y a los Ingenieros **John Cárdenas, Juan Carlos Agualimpia y Amaury Rodríguez** por su apoyo, colaboración constante y por permitirnos el ingreso a CARBOSAN LTDA, sin su ayuda tampoco habría sido posible.

Al **Ing. Juan Carlos Cabarcas** quién guió y orientó este trabajo; al **Ing. Roberto Mal** por su ayuda incondicional; al **Ing. Félix Cuello** por su orientación; a las Directivas del Programa de Ingeniería Industrial por su oportuno servicio; a todos los Docentes que durante nuestra permanencia en la Universidad hicieron con su enseñanza las profesionales que soñamos.

A todos aquellos que contribuyeron a hacerlo posible...a esas personas que de una u otra forma estuvieron a nuestro lado brindándonos apoyo, cariño, comprensión y colaboración.

¡Mil y mil gracias!

DEDICATORIAS.

Dedico este trabajo:

En primera instancia a **Dios**, por darme la vida, la voluntad, las fuerzas, la fortaleza y todo lo que he necesitado hasta hoy.

A mis **Padres, Abuela y Hermanas** por ser mi motivación constante y el motor que impulsa mis ganas de salir adelante, a toda mi familia, mil gracias por estar conmigo y apoyarme en cada momento.

A los **amigos** que siempre estuvieron manifestándome su apoyo, ayuda, colaboración y comprensión justo en el momento que lo necesité.

A los Ingenieros José David Quintero y Luis Eduardo Ortiz, jefes y amigos, por su apoyo y colaboración infinita.

A **Katerina**, amiga, hermana y compañera, por la alegría de las batallas que libramos juntas y por la dignidad de los combates que libramos entre nosotras.

¡Mil Gracias y mil Bendiciones!

Linda Mendoza Rodríguez

DEDICATORIAS.

Este proyecto lo dedico con todo mi amor y cariño a ti **Dios** que me has dado la oportunidad de vivir y regalarme una familia maravillosa.

A mis **Padres** que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por creer en mí, por darme todo eso que solo ustedes me pueden dar y por estar a mi lado.

A mi hermano **Luis Ángel** gracias por estar conmigo y apoyarme siempre, a mi **Abuela** mi ejemplo a seguir, te llevo en mi corazón por siempre; a mis **Amigos** y **Amigas** por estar conmigo en todo momento, les agradezco a todos ustedes con mi alma el haber llegado a mi vida y el compartir momentos agradables y momentos tristes ya que esos momentos son los que nos hacen crecer y valorar a las personas que nos rodean, recuerden que siempre los llevaré en mi corazón.

Y no me puedo despedir sin antes agradecer a mi amiga **Linda** que sin ella a mi lado, no hubiera logrado tantas desveladas, que al final sirvieron de algo y aquí está el fruto, amiga te quiero mucho, no lo olvides.

A todos gracias, que por fin terminamos!!!

Katerina Acosta Martínez.

TABLA DE CONTENIDO.

	Página
LISTA DE TABLAS.	8
LISTA DE FIGURAS.....	10
RESUMEN.	13
1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.....	15
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	15
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	18
2. OBJETIVOS.....	19
2.1. OBJETIVO GENERAL.	19
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.	19
3. MARCO REFERENCIAL.	20
3.1 LA CADENA DEL CARBÓN EN COLOMBIA.	20
3.1 PROCEDENCIA DEL CARBÓN: RESERVAS CARBONÍFERAS EN LA COSTA ATLÁNTICA.....	20
3.2 PUERTO DE SANTA MARTA.....	25
3.3 CARBOSAN LTDA.....	27
4. MARCO TEÓRICO.	29
4.1 PROCESO LOGÍSTICO DE EXPORTACIÓN DE CARBÓN EN CARBOSAN LTDA.	29
4.2 LA SIMULACIÓN.....	39
4.2.1 TIPOS DE SIMULACIÓN.....	40
4.2.2 SIMULACIÓN DE SISTEMAS.	41
4.2.3 ¿QUE INTENTA LA SIMULACION?.....	42
4.3 ¿QUE ES UN MODELO?	42
4.4 ARENA 12.0.....	43
4.4.1 FUNDAMENTOS DE SIMULACIÓN EN ARENA®	44
4.5 INPUT ANALYZER.....	46
4.6 CAPACIDAD OPERATIVA.....	47
5. ESTADO DEL ARTE.	49
6. METODOLOGÍA.	51
6.1 ÁREA Y OBJETO DE ESTUDIO.....	51
6.2 OBSERVACIÓN Y DEFINICIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO.....	52
6.3 CÁLCULO DEL TAMAÑO MUESTRAL.	52
6.4 RECOLECCIÓN DE DATOS.....	55

6.4.1	TIEMPOS ENTRE ARRIBOS.	56
6.4.2	TIEMPOS DE ATENCIÓN EN PORTERÍA.	57
6.4.3	TIEMPOS DE RUTA (DE ENTRADA A PATIO 5 Y DE ENTRADA A PATIO ANCÓN).	58
6.4.4	TIEMPOS DE DESCARPE.	61
6.4.5	TIEMPOS DE MANIOBRA EN PATIO 5.	62
6.4.6	TIEMPOS DE DESCARGUE DE VEHÍCULOS EN VOLCADORES.	64
6.4.7	TIEMPOS DE LIMPIEZA DE COMPUERTAS.	64
6.4.8	TIEMPOS DE RUTA (DE PATIO 5 A ZONA DE LAVADO Y DE PATIO ANCÓN A ZONA DE LAVADO).	66
6.4.9	TIEMPOS DE LAVADO.	68
6.5	TEST DE RACHAS PARA ALEATORIEDAD DE UNA MUESTRA.	69
6.6	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.	91
6.6.1	TIEMPOS ENTRE ARRIBOS.	92
6.6.2	TIEMPOS DE ENTREGA DE REMESA EN PORTERÍA.	97
6.6.3	TIEMPOS DE DESCARPE.	98
6.6.4	TIEMPOS DE MANIOBRA EN PATIO 5.	100
6.6.5	TIEMPOS DE DESCARGUE DE VEHÍCULOS EN VOLCADORES.	101
6.6.6	TIEMPOS DE LIMPIEZA DE COMPUERTAS.	105
6.6.7	TIEMPOS DE LAVADO.	106
6.6.8	TIEMPOS ENTRE FALLAS.	107
6.6.9	DURACIÓN DE LAS FALLAS.	118
6.7	PLANTEAMIENTO DEL MODELO CONCEPTUAL.	128
6.8	PROGRAMACIÓN DEL MODELO COMPUTACIONAL EN ARENA 12.0.	130
6.9	SIMULACIÓN: CORRIDA DEL MODELO.	132
6.10	ESTABILIZACIÓN DEL MODELO.	133
6.11	VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN.	153
6.12	ANÁLISIS DE RESULTADOS.	161
7.	ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD OPERATIVA.	174
7.1	ESCENARIOS DE LA SIMULACIÓN.	176
8.	CONCLUSIONES.	185
9.	RECOMENDACIONES.	188
10.	LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.	190
11.	BIBLIOGRAFÍA.	191
12.	ANEXOS.	195

LISTA DE TABLAS.

Página

TABLA 1. RECURSOS MÁS RESERVAS DE CARBÓN EN LA GUAJIRA (Mt)	22
TABLA 2. RECURSOS MÁS RESERVAS DE CARBÓN EN EL DEPARTAMENTO DE CESAR (Mt)	24
TABLA 3. PROYECCIÓN DE OFERTA DE CARBÓN POR DEPARTAMENTO, 2008 - 2015	24
TABLA 4. PUERTOS Y TERMINALES PARA LA EXPORTACIÓN DEL CARBÓN COLOMBIANO.....	25
TABLA 5. TIEMPOS DE ATENCIÓN EN PORTERÍA (MIN).	58
TABLA 6. DATOS CONFIRMATORIOS DE TIEMPO DE RUTA DE PORTERÍA A PATIO 5 (MIN).	60
TABLA 7. DATOS CONFIRMATORIOS DE TIEMPO DE RUTA DE PORTERÍA A PATIO ANCÓN (MIN).	61
TABLA 8. DATOS DE PATIO 5 (MIN).	61
TABLA 9. DATOS DE PATIO ANCÓN (MIN).	62
TABLA 10. TIEMPOS DE MANIOBRA EN PATIO 5 (MIN).	63
TABLA 11. TIEMPOS DE LIMPIEZA DE COMPUERTAS PATIO 5 (MIN).	64
TABLA 12. TIEMPOS DE LIMPIEZA DE COMPUERTAS PATIO 5 (MIN).	65
TABLA 13. DATOS CONFIRMATORIOS DE TIEMPO DE RUTA DE ZONA DE LIMPIEZA PATIO 5 A ZONA DE LAVADO (MIN).	68
TABLA 14. DATOS CONFIRMATORIOS DE TIEMPO DE RUTA DE ZONA DE LIMPIEZA PATIO ANCÓN A ZONA DE LAVADO (MIN).	68
TABLA 15. DATOS DE TIEMPOS DE LAVADO (MIN).....	69
TABLA 16. CATEGORÍA DE LAS OBSERVACIONES.....	70
TABLA 17. COMPARACIÓN DE DESVIACIONES ESTÁNDAR.....	72
TABLA 18. COMPARACIÓN DE DESVIACIONES ESTÁNDAR.....	77
TABLA 19. COMPARACIÓN DE DESVIACIONES ESTÁNDAR.....	82
TABLA 20. COMPARACIÓN DE DESVIACIONES ESTÁNDAR.....	87
TABLA 21. CONSOLIDADO DE LOS DATOS ANALIZADOS EN EL INPUT ANALYZER.	91
TABLA 22. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 1	93
TABLA 23. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 2	94
TABLA 24. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 3	95
TABLA 25. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 4	96
TABLA 26. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 5	97
TABLA 27. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 6	98
TABLA 28. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 7	99
TABLA 29. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 8	100
TABLA 30. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 9	101
TABLA 31. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 10	102
TABLA 32. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 11	103
TABLA 33. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 12	104
TABLA 34. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 13	105
TABLA 35. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 14	106
TABLA 36. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 15	108
TABLA 37. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 16	109
TABLA 38. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 17	110
TABLA 39. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 18	111
TABLA 40. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 19	112
TABLA 41. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 20	113
TABLA 42. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 21	114
TABLA 43. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 22	115
TABLA 44. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 23	116

TABLA 45. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 24.....	117
TABLA 46. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 25.....	118
TABLA 47. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 26.....	119
TABLA 48. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 27.....	120
TABLA 49. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 28.....	121
TABLA 50. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 29.....	122
TABLA 51. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 30.....	123
TABLA 52. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 31.....	124
TABLA 53. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 32.....	125
TABLA 54. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 33.....	126
TABLA 55. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 34.....	127
TABLA 56. CANTIDADES TOTALES DE VEHÍCULOS ATENDIDOS EN VOLCADORES POR MES, MODELO DÍA.	135
TABLA 57. CANTIDADES TOTALES DE VEHÍCULOS ATENDIDOS EN VOLCADORES POR MES, MODELO NOCHE.	136
TABLA 58. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 35.....	137
TABLA 59. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 35.....	138
TABLA 60. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 36.....	139
TABLA 61. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 37.....	140
TABLA 62. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 38.....	141
TABLA 63. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 39.....	142
TABLA 64. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 40.....	143
TABLA 65. INFORMACIÓN INPUT ANALYZER 41.....	144
TABLA 66. CONSOLIDADO COMPORTAMIENTO DE LA VARIABLE DE SALIDA TONELADAS DESCARGADAS....	145
TABLA 67. CONSOLIDADO DE MEDIA Y DESVIACIÓN ESTÁNDAR DE LOS DATOS ARROJADOS POR EL MODELO.	145
TABLA 68. CANTIDAD DE VEHÍCULOS DESCARGADOS POR MES REALES DÍA.	154
TABLA 69. CANTIDAD DE VEHÍCULOS DESCARGADOS POR MES REALES NOCHE.....	155
TABLA 70. CANTIDAD DE VEHÍCULOS DESCARGADOS POR MES RESULTADO MODELO DÍA.	156
TABLA 71. CANTIDAD DE VEHÍCULOS DESCARGADOS POR MES RESULTADO MODELO NOCHE.	157
TABLA 72. TABLA DE CONSOLIDADO DE DATOS F_0	161
TABLA 73. PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN DE LOS VOLCADORES POR MES – MODELO DÍA.....	162
TABLA 74. PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN DE LOS VOLCADORES POR MES – MODELO NOCHE.	163
TABLA 75. CANTIDAD DE TONELADAS DESCARGADAS POR MES MODELO CARBÓN DÍA.	165
TABLA 76. CANTIDAD DE TONELADAS DESCARGADOS POR MES MODELO CARBÓN NOCHE.	166
TABLA 77. CANTIDAD DE TONELADAS DESCARGADOS POR MES REALES CARBÓN DÍA.	167
TABLA 78. CANTIDAD DE TONELADAS DESCARGADOS POR MES REALES CARBÓN NOCHE.....	167
TABLA 79. TIEMPOS DE COLAS MODELO DÍA (MIN).	171
TABLA 80. TIEMPOS DE COLAS MODELO NOCHE (HORAS).....	172
TABLA 81. PROMEDIOS DE PORCENTAJES DE UTILIZACIÓN DE VOLCADORES MODELO DÍA (MES).	177
TABLA 82. PROMEDIOS DE CANTIDADES DE TONELADAS DESCARGADAS MODELO DÍA (MES).	178
TABLA 83. PROMEDIOS DE VEHÍCULOS DESCARGADOS MODELO DÍA (MES).....	179
TABLA 84. PROMEDIOS DE PORCENTAJES DE UTILIZACIÓN DE VOLCADORES MODELO NOCHE (MES).....	180
TABLA 85. PROMEDIOS DE CANTIDADES DE TONELADA DESCARGADAS MODELO NOCHE (MES).....	181
TABLA 86. PROMEDIO DE VEHÍCULOS DESCARGADOS MODELO NOCHE (MES).	182
TABLA 87. TIEMPOS PROMEDIOS DE COLAS ESCENARIO 1 MODELO DÍA (MIN).	183
TABLA 88. TIEMPOS PROMEDIOS DE COLAS ESCENARIO 1 MODELO NOCHE (MIN).....	184

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1. ESQUEMA DE LA CADENA DEL CARBÓN.....	21
FIGURA 2. DISTRIBUCIÓN SOCIEDAD PORTUARIA DE SANTA MARTA.	26
FIGURA 3. INGRESO DEL MINERAL AL PUERTO.	30
FIGURA 4. DESCARPE DE VEHÍCULOS.....	31
FIGURA 5. DESCARGUE DE CARBÓN.	33
FIGURA 6. TRANSPORTE DEL MATERIAL.....	33
FIGURA 7. LIMPIEZA DE COMPUERTA.	34
FIGURA 8. ESTACIÓN DE LAVADO.	34
FIGURA 9. LAVADO DE VEHÍCULOS.	35
FIGURA 10. APLICACIÓN DE ESPUMAS Y RESINAS.	35
FIGURA 11. APILADOR RADIAL.	36
FIGURA 12. SISTEMA DE ASPERSIÓN PARA EL CONTROL DE EMISIONES.	37
FIGURA 13. CARGUE DIRECTO DE BUQUES.....	37
FIGURA 14. CARGADORES FRONTALES CAT-992.....	38
FIGURA 15. BANDAS TRANSPORTADORAS.	38
FIGURA 16. SHIP-LOADER.....	39
FIGURA 17. ÁREA DE ESTUDIO: CARBOSAN LTDA EN SOCIEDAD PORTUARIA DE SANTA MARTA.	51
FIGURA 18. DISTANCIA DESDE PORTERÍA HASTA PATIO 5.	59
FIGURA 19. DISTANCIA DESDE PORTERÍA HASTA PATIO ANCÓN.	59
FIGURA 20. DESDE ZONA DE LIMPIEZA PATIO 5 HASTA ESTACIÓN DE LAVADO, 0.35 KM.	66
FIGURA 21. DESDE ZONA DE LIMPIEZA PATIO ANCÓN HASTA ESTACIÓN DE LAVADO. 0.05 KM.....	67
FIGURA 22. COMPARATIVO.....	74
FIGURA 23. GRÁFICAS DE CAJA Y BIGOTES.....	75
FIGURA 24. GRÁFICO CUANTIL-CUANTIL.....	75
FIGURA 25. COMPARATIVO.	79
FIGURA 26. GRÁFICO CUANTIL-CUANTIL.....	80
FIGURA 27. GRÁFICO DE CAJA Y BIGOTES.	80
FIGURA 28. COMPARATIVO.	84
FIGURA 29. GRÁFICO CAJA Y BIGOTES.....	85
FIGURA 30. GRÁFICO CUANTIL-CUANTIL.....	85
FIGURA 31. COMPARATIVO.	89
FIGURA 32. GRÁFICO CUANTIL-CUANTIL.....	89
FIGURA 33. GRÁFICO CAJA Y BIGOTES.....	90
FIGURA 34. TIEMPOS ENTRE ARRIBOS CARGA DE CARBÓN DÍA.	93
FIGURA 35. TIEMPOS ENTRE ARRIBOS CARGA DE CARBÓN NOCHE.	94
FIGURA 36. TIEMPOS ENTRE ARRIBOS OTRAS CARGAS DÍA.	95
FIGURA 37. TIEMPOS ENTRE ARRIBOS OTRAS CARGAS NOCHE.	96
FIGURA 38. TIEMPOS DE ATENCIÓN EN PORTERÍA.	97
FIGURA 39. DESCARPE PATIO 5.	98
FIGURA 40. DESCARPE PATIO ANCÓN.	99
FIGURA 41. TIEMPOS DE MANIOBRA PATIO 5.	100
FIGURA 42. DATOS DE PATIO 5, VOLCADOR 1.....	101
FIGURA 43. DATOS DE PATIO 5, VOLCADOR 2.....	102
FIGURA 44. DATOS DE PATIO ANCÓN, VOLCADOR 1.....	103
FIGURA 45. DATOS DE PATIO ANCÓN, VOLCADOR 2.....	104
FIGURA 46. TIEMPOS DE LIMPIEZA DE COMPUERTAS.....	105
FIGURA 47. TIEMPOS DE LAVADO.	106

FIGURA 48. FALLAS MECÁNICAS.....	108
FIGURA 49. FALLAS ELÉCTRICAS.....	109
FIGURA 50. FALLAS POR CONTROL.....	110
FIGURA 51. FALLAS MECÁNICAS.....	111
FIGURA 52. FALLAS ELÉCTRICAS.....	112
FIGURA 53. FALLAS POR CONTROL.....	113
FIGURA 54. FALLAS MECÁNICAS.....	114
FIGURA 55. FALLAS POR CONTROL.....	115
FIGURA 56. FALLAS MECÁNICAS.....	116
FIGURA 57. FALLAS POR CONTROL.....	117
FIGURA 58. FALLAS MECÁNICAS.....	118
FIGURA 59. FALLAS ELÉCTRICAS.....	119
FIGURA 60. FALLAS POR CONTROL.....	120
FIGURA 61. FALLAS MECÁNICAS.....	121
FIGURA 62. FALLAS ELÉCTRICAS.....	122
FIGURA 63. FALLAS POR CONTROL.....	123
FIGURA 64. FALLAS MECÁNICAS.....	124
FIGURA 65. FALLAS POR CONTROL.....	125
FIGURA 66. FALLAS MECÁNICAS.....	126
FIGURA 67. FALLAS POR CONTROL.....	127
FIGURA 68. DIAGRAMA DE FLUJO DE LAS OPERACIONES DE CARBOSAN LTDA.	129
FIGURA 69. MODELOS DE SIMULACIÓN.	131
FIGURA 70. CANTIDAD DE VEHÍCULOS DESCARGADOS POR MES PATIO 5 VOLCADOR 1 MODELO DÍA	137
FIGURA 71. CANTIDAD DE VEHÍCULOS DESCARGADOS POR MES PATIO 5 VOLCADOR 2 DÍA.	138
FIGURA 72. CANTIDAD DE VEHÍCULOS DESCARGADOS POR MES DATOS PATIO ANCÓN VOLCADOR 1 DÍA	139
FIGURA 73. CANTIDAD DE VEHÍCULOS DESCARGADOS POR MES PATIO ANCÓN VOLCADOR 2 DÍA.	140
FIGURA 74. CANTIDAD DE VEHÍCULOS DESCARGADOS POR MES PATIO 5 VOLCADOR 1 NOCHE.	141
FIGURA 75. CANTIDAD DE VEHÍCULOS DESCARGADOS POR MES PATIO 5 VOLCADOR 2 NOCHE.....	142
FIGURA 76. CANTIDAD DE VEHÍCULOS DESCARGADOS POR MES PATIO ANCÓN VOLCADOR 1 NOCHE.....	143
FIGURA 77. CANTIDAD DE VEHÍCULOS DESCARGADOS POR MES PATIO ANCÓN VOLCADOR 2 NOCHE.....	144
FIGURA 78. GRÁFICA DE ESTABILIZACIÓN 1.	149
FIGURA 79. GRÁFICA DE ESTABILIZACIÓN 2.	149
FIGURA 80. GRÁFICA DE ESTABILIZACIÓN 3.	150
FIGURA 81. GRÁFICA DE ESTABILIZACIÓN 4.	150
FIGURA 82. GRÁFICA DE ESTABILIZACIÓN 5.	151
FIGURA 83. GRÁFICA DE ESTABILIZACIÓN 6.	151
FIGURA 84. GRÁFICA DE ESTABILIZACIÓN 7.	152
FIGURA 85. GRÁFICA DE ESTABILIZACIÓN 8.	152
FIGURA 86. PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN DE VOLCADORES POR MES - MODELO DÍA.	164
FIGURA 87. PORCENTAJE DE UTILIZACIÓN DE VOLCADORES POR MES - MODELO NOCHE.	164
FIGURA 88. CANTIDAD DE TONELADAS DESCARGADOS POR MES MODELO CARBÓN DÍA.....	168
FIGURA 89. CANTIDAD DE TONELADAS DESCARGADOS POR MES REALES DÍA.....	168
FIGURA 90. CANTIDAD DE TONELADAS DESCARGADOS POR MES MODELO CARBÓN NOCHE.	169
FIGURA 91. CANTIDAD DE TONELADAS DESCARGADOS POR MES REAL NOCHE.	169
FIGURA 92. COLAS MODELO DÍA.....	173
FIGURA 93. COLAS MODELO NOCHE.	173
FIGURA 94. GRÁFICAS COMPARATIVAS DE LOS TRES MODELOS PARA PORCENTAJES DE UTILIZACIÓN DE VOLCADORES (MES).	178
FIGURA 95. GRÁFICAS COMPARATIVAS DE LOS TRES MODELOS PARA PROMEDIOS DE TONELADAS DESCARGADAS MODELO DÍA (MES).	179

FIGURA 96. GRÁFICA COMPARATIVAS DE LOS TRES MODELOS PARA CANTIDAD DE VEHÍCULOS DESCARGADOS MODELO DÍA (MES).	180
FIGURA 97. GRÁFICAS COMPARATIVAS DE LOS TRES MODELOS PARA PORCENTAJES DE UTILIZACIÓN DE VOLCADORES MODELO NOCHE (MES).	181
FIGURA 98. GRÁFICAS COMPARATIVAS DE LOS TRES MODELOS PARA PROMEDIOS DE TONELADAS DESCARGADAS MODELO NOCHE (MES).	182
FIGURA 99. GRÁFICAS COMPARATIVAS DE LOS TRES MODELOS PARA CANTIDAD DE VEHÍCULOS DESCARGADOS MODELO NOCHE (MES).	183

RESUMEN.

El presente proyecto de investigación refleja el diseño de un modelo de simulación de la operación de descargue de carbón por tractomulas desarrollado en la empresa CARBOSAN LTDA la cual opera en el Puerto de Santa Marta.

La metodología empleada se basó en gran medida en el uso de técnicas de modelación de sistemas (representación del modelo lógico - modelo conceptual y construcción del modelo que va a representar todas las etapas-modelo computacional) para crear una simulación del sistema físico de la operación de descargue del carbón. Durante el desarrollo de este trabajo, se logró integrar la realidad encontrada a un modelo conceptual el cual posteriormente fue llevado a la herramienta computacional ARENA 12.0 donde se realizó el montaje. Para ello fue necesario depurar y validar los datos suministrados por la empresa y tomados en campo para luego analizarlos estadísticamente mediante la utilización del INPUT ANALYZER de ARENA 12.0, actividad que nos arrojó los resultados que este software requiere como datos de entrada y que permitieron la concepción del modelo final. Este modelo final fue estabilizado y validado para garantizar que se ajustaba al sistema real.

El modelo de simulación propuesto permitió recrear las actividades que se desarrollan durante el proceso de descargue del material (carbón), comprende desde el arribo de las tractomulas hasta la salida de los vehículos descargados del puerto y el almacenamiento del carbón en los patios de acopio; de la misma manera se logró poner a prueba cada uno de los componentes que interactúan en estas actividades, lo cual permitió analizar la capacidad operativa de la empresa en la operación de descargue de carbón, es decir, se realizó un análisis completo de los factores involucrados en dicho proceso para determinar las causas de las demoras y retrasos y los factores que generaban ineficiencias en el sistema, a

partir de estos factores identificados y que incidían de manera directa en la operación de descargue de carbón se evidencio que no se está aprovechando al máximo la capacidad operativa del proceso por lo que resultó interesante recrear escenarios de mejora a partir de los modelos planteados cambiando ciertas condiciones en el sistema, para determinar cómo al realizar dichos cambios se podría incrementar el aprovechamiento y la utilización del Sistema de descargue de carbón.

1. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La actividad de transporte interno del carbón se constituye como una de las actividades económicas de mayor importancia para la economía Nacional. Colombia es el sexto exportador de carbón del mundo, con una participación de 6,3%, equivalente a 50 Mt (Millones de Toneladas) anuales de carbón¹. Dada la importancia de esta actividad en la balanza comercial del país, el potencial de reservas de este mineral, el comportamiento de los precios internacionales, así como también las disposiciones en materia ambiental para el descargue y el cargue de carbón en los puertos marítimos se hace necesario plantear estrategias que permitan la optimización de las actividades de modo que se hagan éstas más eficientes y menos costosas.

Dentro de la cadena de valor del carbón se han identificado actividades que se consideran críticas en cuanto a los tiempos y la generación de costos, entre estas encontramos el descargue del carbón como una de las más representativas dado los múltiples factores tanto internos como externos que en ella inciden, debido a esto, se ha considerado centrar los esfuerzos en estudiar de forma profunda esta operación con el fin de analizarla y establecer si el sistema está operando eficientemente.

¹ **Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2005).** Documento “La Cadena del Carbón”. Bogotá, Colombia.

CARBOSAN LTDA, es una empresa operadora portuaria dedicada a la prestación de servicios portuarios y logísticos integrales comprometida con la satisfacción de las necesidades de sus clientes, esta empresa cuenta con dos patios de acopio desde el cual se hace el cargue a los buques con el sistema de cargue directo, tal como lo dispuso el Ministerio del Medio Ambiente en el marco del *Proyecto de Reconversión Tecnológica*. Este sistema aunque ha mejorado de forma notable las operaciones de descargue y cargue de carbón, no ha sido la solución absoluta de los problemas operativos que se generan durante el desarrollo de las actividades, en la actualidad las operaciones de ésta empresa se han visto afectadas por diversos factores que generan retrasos en sus operaciones de descargue de carbón interfiriendo así con el cumplimiento de su propósito; la problemática encontrada en general está relacionada con demoras y retrasos que ocasionan una notable reducción del aprovechamiento de la capacidad operativa de dicha actividad; a través de la realización de este proyecto de investigación se pretende proveer a la empresa de una herramienta que les permitirá recrear diferentes escenarios y soportar la toma de decisiones con el fin de lograr su propósito de satisfacer a sus clientes y de hacer más rentable su actividad dado que a mayor aprovechamiento de la capacidad mayor posibilidad de atender más clientes lo cual se traduce en mayores ingresos económicos.

Es por ello que surgió la iniciativa de la concepción de un modelo de simulación de la actividad de descargue de carbón por tractomulas en una de las operadoras Portuarias más importantes del país dedicadas a la exportación de carbón, lo cual nos permitirá tener un soporte para analizar la capacidad operativa de esta actividad con el objetivo de determinar su aprovechamiento.

Mediante la realización de este proyecto se pretende obtener como resultado un modelo de simulación en computadora provisto de un manual de usuario dotado de las respectivas instrucciones e indicaciones el cual será entregado a la

empresa para que esta pueda recrear los diferentes escenarios requeridos dependiendo de nuevas condiciones de acuerdo a las necesidades particulares de los clientes y de la empresa y que soporte la toma de decisiones encaminadas al mejoramiento del desempeño operacional de la empresa.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

El desarrollo del modelo de simulación presentado surgió como iniciativa de solución a la situación problema que se encontró en la empresa CARBOSAN LTDA., la cual como se mencionó anteriormente está relacionada con demoras y retrasos en las operaciones de descargue de carbón debido a los múltiples factores que en ella intervienen causando ineficiencias y suspensiones de las operaciones.

Las demoras y retrasos ocasionan fallas en la ejecución de las operaciones incrementando los costos operacionales, esta situación requirió especial atención y estudio dado que las empresas no deben perder de vista los inconvenientes presentados para poder corregirlos, ajustar el proceso en busca de la mejora continua y el aprovechamiento máximo de los recursos.

Se planteo el diseño de un modelo de simulación del proceso de descargue de carbón por tractomulas debido a que se pudo identificar esta actividad como una de las más críticas en cuanto a la generación de demoras y retrasos por los múltiples factores que en esta operación intervienen. En cada una de las actividades que conforman esta operación se evidencio la generación colas y tiempos de espera, lo que motivo a observar el proceso como un sistema en el cual la relación de sus elementos condiciona el comportamiento y los resultados del mismo.

A través de este modelo de simulación se puede evaluar el comportamiento de esta operación durante un periodo de tiempo determinado para luego compararlo con la realidad y así tener criterios para analizar la capacidad operativa y determinar las razones por las cuales no se está aprovechando ésta al máximo.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General.

Diseñar un modelo de simulación para soportar el análisis de la capacidad operativa de la operación de descargue de carbón en la empresa CARBOSAN LTDA. en el puerto de la ciudad de Santa Marta.

2.2. Objetivos Específicos.

- Determinar los principales factores que interactúan en la actividad de descargue de carbón con el fin de generar las especificaciones para el diseño del modelo de simulación.
- Presentar un modelo simulado en el software ARENA 12.0 de la actividad de descargue de carbón en la empresa CARBOSAN LTDA, que represente la realidad y sirva como soporte para analizar la capacidad operativa del sistema y su aprovechamiento.
- Identificar y determinar las causas de ineficiencias que afectan de forma significativa y que contribuyen a la generación de demoras en el sistema y en la operación de descargue de carbón.
- Analizar los resultados arrojados por la simulación para determinar si el modelo se ajusta a la realidad y sirve de soporte para el análisis de la capacidad operativa del descargue de carbón por tractomulas.

3. MARCO REFERENCIAL.

3.1 La Cadena del Carbón en Colombia².

Las actividades que componen la cadena colombiana del carbón van desde la exploración minera hasta los usos finales del carbón. En el país la cadena del carbón puede explicarse en las siguientes etapas:

- Exploración - reservas y calidades.
- Explotación - desarrollo y montaje, preparación y producción.
- Beneficio - clasificación y lavado del carbón.
- Transformación, en la producción de coque y otros procesos
- Transporte desde la mina hasta el sitio de beneficio y los patios de acopio.
- Transporte, comercialización, distribución y usos.

3.1 Procedencia del Carbón: Reservas carboníferas en la Costa Atlántica.

Colombia cuenta con recursos de carbón de excelente calidad, suficientes para participar en el mercado mundial por largo tiempo. Las reservas medidas son de 7.063,6 Mt, ubicadas principalmente en la Costa Atlántica, donde se encuentra el 90% del carbón térmico que a su vez corresponde al 98% del carbón nacional³.

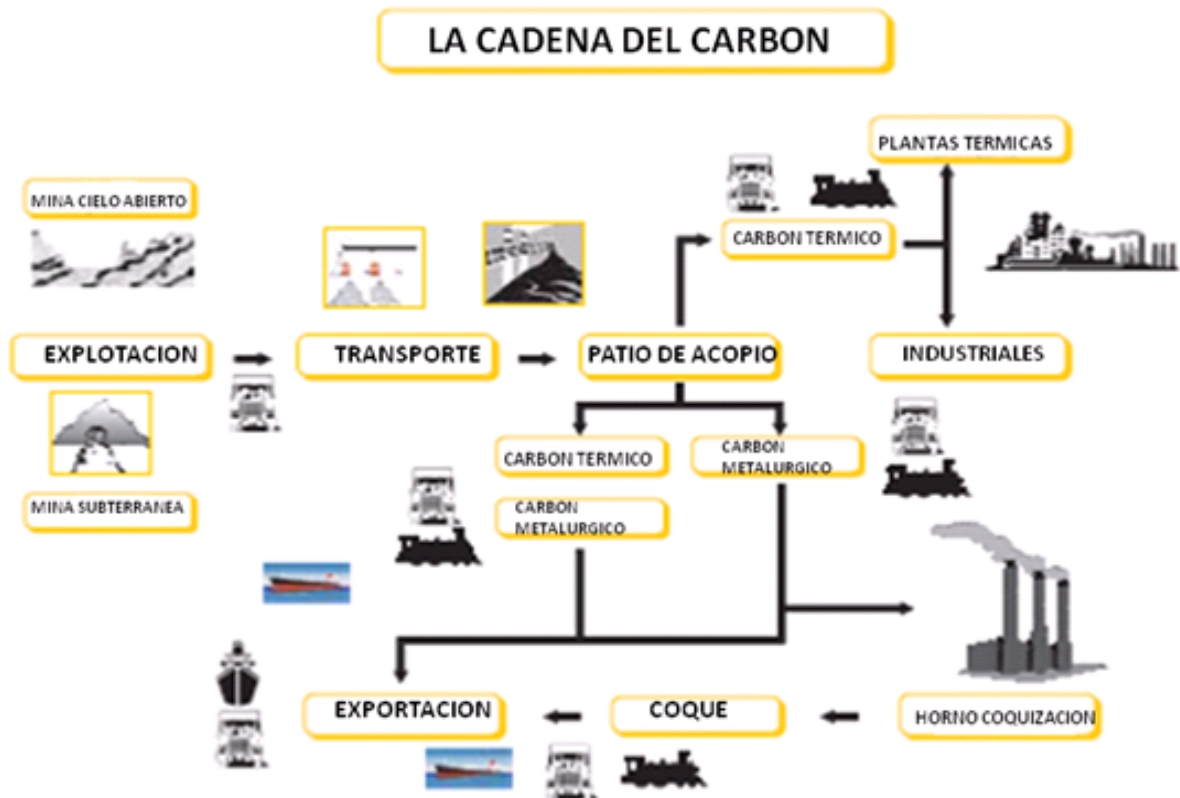
En la región atlántica, conformada por los departamentos de La Guajira, Cesar y Córdoba, registra las mayores reservas de carbón térmico del país cuya

² Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2005). Documento "El carbón Colombiano fuente de energía para el mundo". Bogotá, Colombia.

³ Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2005). Documento "El carbón Colombiano fuente de energía para el mundo". Bogotá, Colombia.

exportación se facilita por encontrarse en zona costera. Los carbones de esta región son bituminosos altos en volátiles, de buena calidad.

Figura 1. Esquema de la Cadena del Carbón.



Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética UPME (2005)

▪ Departamento de la Guajira⁴.

En este departamento, localizado en el extremo septentrional de Colombia, se localiza el yacimiento de El Cerrejón hacia el sector centro – sur en la cuenca de

⁴ Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2005). Documento "El carbón Colombiano fuente de energía para el mundo". Bogotá, Colombia.

los ríos Cesar y Ranchería que para efectos de explotación se ha sido dividido en tres sectores:

- a) **El Cerrejón Norte:** yacimiento que tiene un área de 380 km² (38.000 ha) y reservas medidas de 3.000 Mt; la infraestructura de este sector cuenta con una línea férrea de 194 km entre la mina y Puerto Bolívar, puerto de exportación que posee dos muelles aptos para recibir barcos con capacidades entre 35.000 t y 150.000 t.
- b) **El Cerrejón Central:** este sector tiene un área de 100 km² (10.000 ha) y sus reservas medidas son de 670 Mt.
- c) **El Cerrejón Sur:** este sector corresponde a una continuación de la formación de El Cerrejón, en la actualidad se han determinado reservas carboníferas por 263 Mt.

Tabla 1. Recursos más reservas de carbón en La Guajira (Mt)

Zona	Área	Recursos más reservas básicas			Recursos Hipotéticos	Potencial	Tipo
		Medidos	Indicados	Inferidos			
La Guajira	Cerrejón Norte	3.000,00				3.000,00	T
	Cerrejón Central	670,00				670,00	T
	Cerrejón Sur	263,30	448,86	127,50	27,16	866,82	T
	Totales	3.933,30	448,86	127,50	27,16	4.536,82	T

Fuente: Ingeominas (2004).

- **Departamento de Cesar⁵.**

El área carbonífera de esta región se encuentra ubicada en el centro del departamento a unos 100 Km de la ciudad de Valledupar, con reservas medidas de 2.035,40 Mt, distribuidas en dos zonas: La Loma, con reservas medidas de 1.777,1 Mt, subdividida así:

- a) **La Loma - Boquerón - El Descanso:** en los municipios de Chiriguaná, El Paso y La Jagua de Ibirico, se encuentra en explotación y se estima que las reservas explotables son de 687,5 Mt. La infraestructura cuenta con transporte ferroviario y un puerto de embarque en Ciénaga (Magdalena).
- b) **La Loma-Calenturitas:** ubicado a 15 km al noreste del municipio de La Loma, se han determinado reservas medidas de 102 Mt. La infraestructura de la región cuenta con transporte ferroviario y un puerto de embarque ubicado en Santa Marta (Carbosan Ltda).
- c) **El Hatillo:** conformado por La Siminera ubicada al norte de la cadena montañosa de La Loma con reservas medidas de 150 Mt y El Hatillo con reservas medidas de 57 Mt. Y la Jagua de Ibirico donde las reservas medidas ascienden a 258,3 Mt y se estima que de estas reservas 197 Mt son explotables.

⁵ **Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2005).** Documento “El carbón Colombiano fuente de energía para el mundo”. Bogotá, Colombia.

Tabla 2. Recursos más reservas de carbón en el departamento de Cesar (Mt)

Zona	Área	Recursos más reservas básicas			Recursos Hipotéticos	Potencial	Tipo
		Medidos	Indicados	Inferidos			
Cesar	La Loma	1.777,10	1.563,98	1.963,18	993,50	6.297,76	T
	La Jagua de Ibirico	258,30				258,30	T
	Totales	2.035,40	1.563,98	1.963,18	993,50	6.556,06	T

Fuente: Ingeominas (2004)

Durante el año 2007, la producción de los departamentos de La Guajira y Cesar fue de 63.3 millones de toneladas, cifra que representó el 90.5% de la producción nacional de carbón térmico⁶.

Por otra parte, de acuerdo con estimaciones realizadas por el Ingeominas y la Unidad de Planeación Minero Energética - Upme, para 2015 se espera que la producción de carbón aumente en 88.2% frente a la producción de 2007, y que el departamento del Cesar sea el mayor productor, con cerca de 66.5 millones de toneladas. Estas estimaciones son presentadas en la Tabla 3.

Tabla 3. Proyección de oferta de carbón por departamento, 2008 - 2015
Millones de toneladas métricas.

Departamento	2007 ³	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
Guajira	30.1	33.3	45.0	47.4	47.9	48.4	48.8	49.3	49.8
Cesar	33.2	47.9	48.0	50.5	66.5	66.5	66.5	66.5	66.5

Fuente: Ingeominas - Unidad de Planeación Minero Energética UPME - Plan Nacional de Desarrollo Minero Visión 2019.

Teniendo en cuenta la información anterior, se puede concluir que Colombia tiene un gran potencial para la producción y exportación de carbón, y que la zona nororiental del país es el área geográfica de donde podría provenir la mayor

⁶ **Unidad de Planeación Minero Energética UPME; Ingeominas. (2007).** *Plan Nacional de Desarrollo Minero Visión 2019.* Bogotá, Colombia.

porción de esos volúmenes de producción y exportaciones, dadas sus reservas de este mineral y su proximidad a las zonas costeras⁷.

3.2 Puerto de Santa Marta.

Los puertos constituyen, sin lugar a dudas, un importante elemento dentro de la cadena de distribución física Internacional. Ellos pueden influenciar de manera significativa el costo final de un producto, por lo que cualquier estrategia económica de diversificación de exportaciones o abaratamiento de importaciones debe, necesariamente, tomar en consideración el funcionamiento y organización de los puertos comerciales (Ver tabla 4).

Tabla 4. Puertos y terminales para la exportación del carbón colombiano.

Puerto - Terminales	Ubicación	
Puerto Bolívar	Bahía Portete - La Guajira	Costa Atlántica
Prodeco	Puerto Zúñiga - Magdalena	
Terminal de Drummond	Ciénaga - Magdalena	
Terminal de Carbosan	Santa Marta - Magdalena	
Terminal Colclinker	Bahía de Cartagena - Bolívar	
Terminal de Cementos de Caribe	Barranquilla - Atlántico	
Puerto de Buenaventura (Sociedad Portuaria Regional)	Buenaventura - Valle del Cauca	Costa Pacífica
Puerto de Buenaventura - Muelle 13 (Sociedad Grupo Portuario)	Buenaventura - Valle del Cauca	
Puerto Santander	Puerto de Santander - Norte de Santander	Venezuela
Puerto seco de Cúcuta	Cúcuta - Norte de Santander	

Fuente: Unidad de Planeación Minero Energética UPME (2004)

⁷ **Consejo Nacional de Política Económica y Social - COMPES. (2008).** Documento 3540: “Estrategia para la optimización y modernización del transporte de carbón por los puertos marítimos del municipio de Ciénaga y la bahía Santa Marta”. Bogotá, Colombia.

El puerto de Santa Marta se encuentra ubicado en el extremo noroccidental de la ciudad, enmarcado al norte por los cerros de San Martín y al occidente por el cerro Ancón y la ensenada de Tanganilla. El puerto se localiza a los 11° 15' de latitud Norte y a los 74° 13' de longitud Oeste. En sus siete muelles, el puerto atiende a sus usuarios durante 24 horas al día todos los días del año, ofreciendo también los beneficios de un almacenaje seguro en sus bodegas y patios⁸. (Ver Figura 2).

Figura 2. Distribución sociedad portuaria de Santa Marta.



Fuente: <http://www.spsm.com.co/es/plano.asp#>

Santa Marta es la primera ciudad del país con tener el único puerto de aguas profundas para el cargue y descargue de barcos con capacidad hasta 70 mil toneladas. Tiene un sistema de cargue directo de carbón de exportación a través de bandas transportadoras desde la puesta en operación del *Plan de Renovación Tecnológica* del puerto samario el cual se inició con la apertura del muelle carbonero de CARBOSAN LTDA en el 2004, donde se lleva a cabo el cargue directo del mineral sin impacto al medio ambiente, esta infraestructura implica la

⁸ Tomado de <http://www.spsm.com.co/es/ubicacion.asp>, Visitado última vez 11 de mayo de 2009.

expansión de la capacidad del ferrocarril en el tramo del Cesar a Ciénaga y Santa Marta.

3.3 CARBOSAN LTDA.

La Sociedad portuaria regional de Santa Marta presta servicios al público para la operación de cargue de carbón a través de su operador portuario llamado CARBOSAN LTDA. En este puerto se exportan carbón proveniente en su mayoría de las minas del Cesar y de una mina en el sur de la Guajira.⁹

Con el propósito de desarrollar el proyecto de reconversión tecnológica exigido por el Ministerio de Medio Ambiente para las exportaciones de carbón por el puerto de Santa Marta en el año 1999, la Sociedad Portuaria de Santa Marta y Carboandes/Glencore constituyeron OPERADORA DE CARBÓN DE SANTA MARTA LTDA - CARBOSÁN LTDA. En el año 2001 se iniciaron las obras. El primer sistema en el Patio 5 entró en operación a partir de Julio de 2.003 con una moderna infraestructura de cargue directo de buques a través de los muelles 6 y 7 del terminal marítimo utilizando el patio 5 como sitio de acopio del carbón térmico al servicio de Carboandes/Glencore y Carbones Colombianos del Cerrejón S.A.- CCC. El segundo sistema en el Patio Ancón entró en operación en Agosto de 2006.¹⁰

Para controlar la emisión de partículas al medio ambiente, se emplean aspersores de agua, espuma y resina. A través de sus bandas transportadoras cubiertas se

⁹ **Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2005).** Documento “El carbón Colombiano fuente de energía para el mundo”. Bogotá, Colombia.

¹⁰ **CARBOSAN LTDA. (2007).** Memorias Seminario “Sistemas de Gestión Ambiental” Proyecto de Cargue directo de Carbón, Santa Marta, Colombia.

conducen el mineral hasta el apilador radial para su almacenamiento. El sistema de cargue a las motonaves se efectúa a través del cargador radial, el cual deposita el mineral directamente en las bodegas del buque con una rata de cargue de 2.200 toneladas por hora, que permite despachar embarcaciones de más de 75.000 toneladas en menos de tres días.

Se ha podido apreciar el esfuerzo realizado por la Sociedad Portuaria de Santa Marta y su filial CARBOSAN LTDA para el cargue directo del carbón. Esta sofisticada infraestructura para el sistema de cargue directo de carbón, es un modelo de compromiso y liderazgo para el país. La inversión por parte de la Sociedad Portuaria de Santa Marta y CARBOSAN LTDA en esta moderna infraestructura supera los US\$ 8,5 millones, la cual está conformada por dos volcadores que permite descargar más de 280 camiones por día. Estos volcadores tienen un levante a 55 grados que garantiza el descargue total del producto.

4. MARCO TEÓRICO.

4.1 Proceso Logístico de Exportación de Carbón en CARBOSAN LTDA¹¹.

Transporte: El transporte del carbón es realizado por carreteras nacionales, departamentales, municipales y veredales en tractomulas, los productores de carbón transportan el mineral desde las minas hacia el puerto en tractomulas con capacidades de hasta 40Ton. Este sistema de transporte en ocasiones se ve afectado por eventos adversos tanto sociales como naturales que ocasionan demoras en la llegada de los vehículos hasta el destino final.

Recibo: El recibo de carbón está sujeto a las restricciones establecidas por la Alcaldía de Santa Marta para el tráfico de vehículos pesados en la ciudad. La cantidad de camiones a descargar por día se estipula en conjunto con el Cliente de acuerdo al turno (Diurno o Nocturno) y a los requerimientos de exportación de cada uno de los clientes. De esta forma se acordó con los clientes que el tiempo de Operación es de 20 horas diarias. De acuerdo a lo establecido en el contrato, en Patio 5 son 10 horas para cada cliente (Carbones El Tesoro - Diurno y Carbones Colombianos del Cerrejón – Nocturno) las 4 horas restantes del día son destinadas para la realización de Mantenimiento de tipo preventivo repartidas en 2 horas para cada turno de 10 horas en Patio 5.

En los parqueaderos externos (Parqueadero 5.5 y Parqueadero Trayso) se ubican los camiones para enturnarlos y despacharlos al puerto. En estos parqueaderos externos se verifica en la remesa de cada camión: -Que el destino del carbón sea Patio Cinco o Patio Ancón CARBOSAN LTDA.-Turno de descargue: Aplica solo

¹¹ **CARBOSAN LTDA. (2007).** *Memorias Seminario “Sistemas de Gestión Ambiental” Proyecto de Cargue directo de Carbón, Santa Marta, Colombia.*

para camiones con destino Patio 5, se verifica que esté en turno de descargue dependiendo de la programación previamente acordada con el cliente. Verificada esta información, se registra la hora de ingreso en la remesa de los camiones y se en turna de acuerdo con el orden de llegada.

En los parqueaderos externos se coordina con el jefe operador cuadrilla, el envío de los camiones, la cantidad a enviar y el patio de destino. Con el Supervisor de Protección Física de SPSM, se garantiza que en el puerto haya el número suficiente de camiones para descargar.

Ingreso al Puerto: Los camiones provenientes de minas del Cesar y La Guajira ingresan el mineral al puerto, luego de cumplir con los controles de seguridad por parte de la Sociedad Portuaria de Santa Marta. En la entrada principal, el conductor del camión entrega al Auxiliar de Protección Física de la SPSM la remesa y se registra el ingreso del camión en el video Terminal inalámbrico, (placa del camión, documento de identidad, nombre del conductor y producto). (Ver Figura 3)

Figura 3. Ingreso del mineral al puerto.



Fuente: CARBOSAN LTDA. (2008).

Descarpe: Luego de haber ingresado al puerto los vehículos pasan a la zona de parqueo donde se retira la carpa que cubre las tractomulas, durante esta operación se verifica de forma visual que todos los vehículos cumplan con un adecuado manejo y protección del carbón, en esta actividad las tractomulas esperan turno para pasar a los volcadores para ser descargadas. (Ver Figura 4).

Durante esta operación se verifica de forma visual que todos los vehículos cumplan con un adecuado manejo y protección del carbón: La carpa debe ser de una sola pieza, resistente e impermeable, los amarres al contenedor suficiente, seguro y fácil de desamarrar y por último se verifica que la carga de carbón esta humedecida.¹²

Figura 4. Descarpe de vehículos.



Fuente: CARBOSAN LTDA. (2008).

Descargue: Los vehículos cargados son ubicados en los volcadores los cuales tienen la capacidad de inclinarse hasta 55° para permitir el descargue total del

¹² **CARBOSAN LTDA., (2008).** *PO-OPS-203 Procedimiento Operativo Recibo de carbón y descargue de camiones Patio Cinco*, 5ª Versión. Santa Marta, D.T.C.H., Colombia.

mineral arrojando un rendimiento respectivamente de 12 vehículos/hora y de 20 vehículos/hora en Patio 5 y Patio Ancón. El mineral es descargado en las tolvas que se conectan con las bandas transportadoras para el almacenamiento del mineral en patio.¹³ (Ver figuras 5 y 6).

El proceso comienza indicándole al conductor la plataforma a la que debe subir, las áreas de giro permitidas para la maniobra y las medidas de seguridad que tiene para el ingreso, evitando que con el camión se golpee la estructura de la plataforma y quede en riesgo la integridad del personal y de los equipos.

Se le indica además al conductor del camión que inicie su ingreso a la plataforma hasta que queda ubicado sobre los módulos de pesaje y se procede a la captura del peso del camión lleno. El camión debe quedar separado del Back Stop, apagado, en neutro y el conductor fuera de éste. Una vez ubicado el camión en la plataforma volcadora, se abre la compuerta trasera de la carrocería con la ayuda de una barra quitando el pasador y se chequea que abra libremente sin tropezar con la estructura. Luego se verifica que todo el personal haya salido de la plataforma volcadora, Se Procede a levantar la plataforma hasta que el carbón caiga en su totalidad a la tolva de recibo desocupando el camión. Finalmente se procede a bajar la plataforma en su totalidad, se toma la tara del camión vacío para calcular el peso neto descargado, se genera el ticket de descargue correspondiente y se le entrega al chofer del camión. El camión sale de la plataforma se cierra la compuerta y se dirige a la zona de limpieza de compuerta y a la zona de lavado de camiones, luego el siguiente camión inicia su ingreso a la plataforma.

¹³ **CARBOSAN LTDA. (2008).** *Procedimiento Operativo “RECIBO DE CARBÓN Y DESCARGUE DE CAMIONES” CODIGO PO-OPS-203.* Versión 5. Santa Marta, Colombia.

Figura 5. Descargue de carbón.



Fuente: CARBOSAN LTDA. (2008).

Figura 6. Transporte del Material.



Fuente: CARBOSAN LTDA. (2008).

Limpieza de compuertas y Lavado: Una vez la tractomula ha salido del proceso de descargue en las plataformas volcadoras, el vehículo pasa por dos estaciones, en la primera se realiza el proceso de limpieza de la compuerta donde 2 operarios retiran los residuos de material que quedó adherido al vehículo, en la segunda

estación el vehículo pasa por un sistema de lavado el cual está diseñado para funcionar automáticamente o en caso que falle el automático de forma manual. Al ingresar el camión se activan aspersores que aplican chorros de agua a presión en los lados laterales del vehículo, ocasionando la caída y desprendimiento de los residuos pegado en la parte laterales, y trasera del vehículo.

Figura 7. Limpieza de Compuerta.



Fuente: CARBOSAN LTDA. (2008).

Figura 8. Estación de Lavado.



Fuente: CARBOSAN LTDA. (2008).

Figura 9. Lavado de Vehículos.



Fuente: CARBOSAN LTDA. (2008).

Aplicación de espumas y resinas: Durante el proceso se aplican espumas y resinas; al momento del descargue se aplica al carbón un agente espumante AE-35 y en el apilamiento y almacenamiento se aplica el agente impermeabilizante Impercar 100 al carbón para minimizar la emisión de partículas, permitiendo un mejor control ambiental y reduciendo considerablemente el consumo de agua. (Ver figura 6)

Figura 10. Aplicación de espumas y resinas.



Fuente: CARBOSAN LTDA. (2008).

Almacenamiento en patios de acopio: El apilamiento se realiza a través de bandas transportadoras que finalizan en un apilador radial. Todo el sistema de descargue y almacenamiento cuenta con sistema de riego al cual se le aplica el químico Impercar 100 e Impercar 200 para minimizar emisiones. El Apilador Radial cuenta con una pluma de 45 metros y una elevación de 15 metros. Su rendimiento es de 1.350 toneladas por hora. (Ver Figura 7).

Aspersiones: Adicionalmente se cuenta con Sistemas de aspersión para el control de emisiones; los patios están dotados con cañones para la humectación del mineral, proporcionando un refuerzo al control de emisión de partículas adicional al sistema de protección con químicos, para reducir el consumo de agua. (Ver Figura12)

Figura 11. Apilador radial.



Fuente: CARBOSAN LTDA. (2008).

Figura 12. Sistema de aspersión para el control de emisiones.



Fuente: CARBOSAN LTDA. (2008).

Cargue de Buques: De esta forma finaliza el proceso; gracias a la profundidad de sus aguas, el Puerto de Santa Marta se puede recibir buques de hasta 47 pies de calado sin restricción alguna. (Ver figura 13).

Figura 13. Cargue directo de buques.



Fuente: CARBOSAN LTDA. (2008).

El cargue del buque inicia con cargadores frontales Cat-992 con una capacidad de 20 toneladas. Los cuales alimentan la banda transportadora que surte al ship-loader. (Ver figura 14)

Figura 14. Cargadores frontales Cat-992.



Fuente: CARBOSAN LTDA. (2008).

Las bandas transportadoras tienen un rendimiento de 2.200 tons/hora y cuentan con un sistema de pesaje, muestreo y detección de metales. (Ver Figura 12).

Figura 15. Bandas transportadoras.



Fuente: CARBOSAN LTDA. (2008).

El Ship-Loader, Este cargador posee un sistema a control remoto operado desde la cubierta del buque, garantizando el éxito de la operación (Ver figura 12). Su desplazamiento es radial y puede llenar tres bodegas consecutivamente. El ship-loader termina en este boom con el cual se cargan directamente las bodegas del buque. El banana spout facilita el llenado total de las bodegas del buque, distribuyendo el mineral a lo ancho de la bodega gracias a su giro, con potencia hidráulica, de 360° sobre su propio eje.

Figura 16. Ship-Loader.



Fuente: CARBOSAN LTDA. (2008).

4.2 LA SIMULACIÓN.

La simulación es una técnica para realizar y estudiar sistemas complejos. Es un proceso que tiene como objetivo generar las trayectorias que ilustran el comportamiento de un sistema dinámico. En la simulación es habitual hacer uso de un modelo matemático, programado en un computador, con el fin de llegar a conclusiones aplicables al mundo real. (BATEMAN, R.)¹⁴

¹⁴ **Bateman, R.; Bowden, R.; Gogg, T.; Harrell, Ch.; Mott, J. (1997).** *System improvement using simulation*. Promodel Corporation, Utah, USA: 1-173

La simulación es el proceso de diseñar un modelo e un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias -dentro de los límites impuestos por cierto criterio o un conjunto de ellos - para el funcionamiento del sistema. (R.E. Shannon)

Las simulaciones son empleadas para realizar estudios de partes coherentes del mundo real, denominadas "sistemas", por medio de la experimentación con modelos que representan esos sistemas. Con estas simulaciones se puede obtener un mayor conocimiento e interpretación de los fenómenos que se manifiestan en los sistemas, mejorando el control de los mismos y obteniendo sensibles beneficios en su operación. La complejidad de un sistema está relacionada con el grado de paralelismo de los eventos que en él se manifiestan¹⁵.

4.2.1 Tipos de simulación¹⁶.

Para modelar un sistema debemos comprender el concepto de sistema; un sistema es un conjunto de entidades que actúan e interactúan para la consecución de un fin lógico.

Un sistema discreto es aquel en el cual las variables de estado cambian solo en puntos discretos o contables en el tiempo, por otro lado, el sistema continuo es aquel en que las variables de estado cambian en forma continua a través del tiempo.

¹⁵ **James R. Wilson.** *Simulación por computadora.* En: **Salvendy, Gabriel.** *Manual de Ingeniería Industrial.* Universidad de Texas. Vol. II, capítulo 13.11 p. 1179.

¹⁶ **Donoso, Macarena.** *Presentación Simulación de Procesos Industriales.* Santiago de Chile.

Un modelo estático de simulación es una representación de un sistema en determinado punto de tiempo, mientras que en una simulación dinámica es una representación de cómo evoluciona un sistema a través del tiempo.

Un modelo determinista de simulación es aquel que no contiene variables aleatorias; un modelo estocástico de simulación contiene una o más variables aleatorias.

4.2.2 SIMULACIÓN DE SISTEMAS¹⁷.

La simulación puede definirse como un proceso de experimentación que emplea un modelo programado en un ordenador imitando al sistema real que pretende analizar. Su principal ventaja es que permite “jugar” con el sistema sin necesidad de construirlo, o perturbarlo en caso de que ya exista. Las posibilidades son considerables: optimizar o modificar un proceso existente, analizar el impacto de cualquier perturbación en el sistema (por ejemplo absentismo de los trabajadores, rotura de maquinarias, accidentes, etc.), planificar un nuevo proceso previamente a su construcción real, identificar las variables más relevantes del proceso, estudiar la carga de trabajo/nivel de ocupación de operarios y maquinarias y muchos más.

Las herramientas de simulación son sin duda alguna una valiosa ayuda para la optimización del proceso. El esfuerzo analítico requerido para la modelización contribuye en gran medida a comprender en profundidad el funcionamiento del sistema real, lo que por si mismo ya es valioso, y una vez el modelo se ha

¹⁷ **Orero Jiménez, Alejandro. (2006).** Artículo “La simulación como apoyo a la optimización de procesos” Revista Fórum Calidad 171/06.

finalizado, es posible obtener una información muy relevante sobre el impacto de posibles modificaciones en él.

4.2.3 ¿QUE INTENTA LA SIMULACION?¹⁸

1. Descubrir el comportamiento de un sistema.
2. Postular teorías o hipótesis que expliquen el comportamiento observado.
3. Usar esas teorías para predecir el comportamiento futuro del sistema, es decir mirar los efectos que se producirían en el sistema mediante los cambios dentro de él o en su todo método de operación (tiempo en minutos).

4.3 ¿QUE ES UN MODELO?

La simulación de sistemas implica la construcción de modelos. El objetivo es averiguar qué pasaría en el sistema si acontecieran determinadas hipótesis. La **simulación** ofrece, sobre bases ciertas, esa predicción del futuro, condicionada a supuestos previos. Para ello se construyen los **modelos**, normalmente una simplificación de la realidad. Surgen de un análisis de todas las variables intervinientes en el **sistema** y de las **relaciones** que se descubren existen entre ellas.¹⁹

¹⁸ **Dorado, Christian.** *Monografía "Simulación de Sistemas"*. Disponible en: [http://www.monografias.com/trabajos20/simulacion-sistemas/simulacion-sistemas.shtml]. Visitado 9 de septiembre de 2007.

¹⁹ **Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.** *Documento Sistemas, modelos y simulación*. Buenos Aires, Argentina.

El modelo consiste en una descripción del sistema, junto con un conjunto de reglas que lo gobiernan. Un modelo es una representación simplificada de la realidad en la que aparecen algunas de sus propiedades.

Un modelo es un objeto, concepto o conjunto de relaciones que se utiliza para representar y estudiar de forma simple y comprensible una porción de la realidad²⁰.

Un modelo constituye una representación abstracta de un cierto aspecto de la realidad, y tiene una estructura que está formada por los elementos que caracterizan el aspecto de la realidad modelada y por las relaciones entre estos elementos.²¹

4.4 ARENA 12.0.

El software de simulación *ARENA 12.0* permite modelar cualquier sistema, representando las entradas (*inputs*) y las salidas (*outputs*) del sistema como *entidades* que atraviesan el sistema y representando el sistema mismo como *recursos* que realizan alguna acción sobre las entidades. También permite modelar las *colas (queues)*, las cuales permiten que las entidades esperen por la disponibilidad de recursos o que se cumpla una condición particular.

Las entidades pueden ser de diversos tipos y llevan consigo una cantidad diversa de atributos, que pueden ser modificados mientras se mueven a través del sistema. Los recursos pueden ser también de diversos tipos y pueden retrasar

²⁰ Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires. *Documento Sistemas, modelos y simulación*. Buenos Aires, Argentina.

²¹ Aracil, J. (1983). *"Introducción a la dinámica de sistemas"*. Editorial Alianza. Madrid. Pág.18

entidades, cambiar sus atributos o encaminarlos en diferentes direcciones, basados en reglas determinadas. Las *colas* simulan las esperas o demoras en el sistema, que permiten más flexibilidad en el uso de recursos y pueden afectar significativamente la capacidad real de un sistema.²²

En síntesis ARENA 12.0 no es más que una herramienta que permite la toma de decisiones utilizando la simulación asistida por computador. Este nos brinda la posibilidad de crear nuestros propios modelos de los sistemas usando un entorno sencillo y fácil de usar para que al examinar los resultados que te arrojan esos sistemas en este “laboratorio” computacional, poder predecir el futuro con un relativo grado de confianza y escoger la mejor alternativa entre todas²³.

El sistema ARENA 12.0 provee un entorno de trabajo integrado para construir modelos de simulación en una amplia variedad de campos. Este integra todas las funciones necesarias para llevar a cabo una simulación exitosa (incluyendo animaciones, análisis de entrada y salida de datos y verificación del modelo) bajo un ambiente fácilmente comprensible.

4.4.1 Fundamentos de simulación en ARENA^{®24}

Entidad: Puede ser un objeto o persona que se mueve a través de un sistema y que causa cambios en las variables de repuesta.

²² **Autoridad del Canal de Panamá ACP, Rockwell Automation y Paragon Consulting Solutions. (2006).** *Informe Final Simulación y Análisis de Capacidad del Canal: Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión.*

²³ **García, Luis; Giraldo, Gabriel; Mancilla, Alfonso. (2005).** *Manual de ARENA 8.0.* Bogotá, Colombia.

²⁴ **Fábregas, Aldo; Wadnipar, Rodrigo; Paternina, Carlos; Mancilla, Alfonso. (2003).** *Simulación de Sistemas Productivos con ARENA 10.0[®].* Primera edición. Ediciones Uninorte, Barranquilla, Colombia.

Ejemplos de entidades y sistemas:

- Un cliente en un banco
- Una orden de pedido en un sistema de inventarios
- Una lámina de acero en un proceso de manufactura

Recurso: es un elemento estacionario que puede ser ocupado por una entidad. Los recursos se emplean cuando se requiere representar actividades claves del sistema que restringen el flujo de entidades.

Los recursos tienen una capacidad finita; así mismo cuentan con una serie de estados por los cuales atraviesan a lo largo de la simulación, ejemplo, ocupado, ocioso, inactivo o dañado. Un recurso puede ser una persona (Cajero), una máquina (Torno) o, incluso, un espacio en áreas de almacenamiento (zona de carga).

Atributo: es una característica propia de cada entidad. En ARENA[®] se pueden definir tantos atributos como requiera el usuario para el modelamiento del sistema en estudio. Cada entidad individual tiene su propio valor de atributo. Esto implica que para determinar este valor, a diferencia de las variables, se debe examinar la entidad que lo porta. Los atributos se definen con un nombre, por ejemplo, peso, número de orden, color, etc., y deben tener un valor numérico que indique algo para el usuario.

Ejemplo: El atributo color puede adoptar valores de 1, 2, 3 cuando los colores son amarillo, azul y rojo, respectivamente.

Variables: representan características del sistema; son de carácter global, es decir, su valor es el mismo en cualquier parte del modelo. Las variables pueden

ser predeterminadas por el programa o definidas por el usuario; se definen con un nombre –por ejemplo, *pedido*- y con un valor numérico que sigue esta distribución.

Ejemplo: el número de clientes en una cola puede adoptar valores de 0, 1, 2, 3, etc.; cada valor representa un estado del sistema.

Ejemplo: El nivel de inventario en un sistema logístico puede adoptar un valor que esté por encima del nivel de reorden o que sea menor o igual a este nivel; de esta manera se tienen solo dos estados de interés representados por múltiples valores de las variables.

Sistema: es un conjunto de elementos que se encuentran en interacción y que buscan alguna meta o metas comunes; para ello operan sobre dato o información, sobre energía, materia u organismos, con el propósito de producir como salida información, energía, materia u organismos. Un sistema es un conjunto de componentes interrelacionados que, en una forma organizada, recibe entradas y las procesa y emite salidas para obtener una meta común.

Evento: es la ocurrencia que cambia el estado del sistema. Hay eventos internos y externos; estos se conocen también como endógenos y exógenos respectivamente.

4.5 INPUT ANALYZER.

ARENA 12.0 cuenta con un analizador de datos de entrada (*Input Analyzer*) el cual permite realizar la descripción de los datos obtenidos mediante la técnica gráfica de Histogramas, también permite realizar las pruebas de bondad Chi cuadrado y

Kolmogorov-Smirnov, para así determinar cuál es la función de probabilidad y los parámetros que mejor se ajustan a los datos analizados.

El Analizador de datos de entrada o *Input Analyzer* es una poderosa herramienta que se encuentra en el ambiente *ARENA*[®]. Se puede utilizar para determinar que distribución de probabilidad se ajusta a los datos de entrada; también para ajustar una distribución específica a los datos, con el fin de comparar funciones de distribución o de visualizar los efectos de cambios en los parámetros de una misma distribución. Además, el *Input Analyzer* puede generar grupos de números aleatorios que se pueden analizar a través de la función de ajuste del programa.

Los datos procesados en el *Input Analyzer*, por lo general, representan intervalos de tiempo asociados con un evento de duración aleatoria. Por ejemplo, se puede usar esta herramienta para analizar un conjunto de datos que representen los tiempos entre llegadas, el tiempo de proceso o el tiempo entre fallas sucesivas del sistema, entre otros aspectos.²⁵

4.6 CAPACIDAD OPERATIVA.²⁶

La capacidad operativa se refiere a la capacidad para la cual fue diseñado el componente o sistema. Se refiere a la capacidad de una instalación; en general expresada como un volumen de producción o rendimiento de atención en un periodo.

²⁵ **Fábregas, Aldo; Wadnigar, Rodrigo; Paternina, Carlos; Mancilla, Alfonso. (2003).** *Simulación de Sistemas Productivos con ARENA*[®]. Primera edición. Ediciones Uninorte, Barranquilla, Colombia, Pág. 111.

²⁶ **Londoño, Carlos A. (2002).** *Documento Capacidad de las operaciones*. México D.F.

Su importancia radica en que es necesario tener capacidad suficiente para proveer el tiempo y la cantidad de producción/atención necesaria para satisfacer la demanda actual y futura del cliente, la capacidad disponible afecta la eficiencia de las operaciones, incluyendo la facilidad o dificultad para programar la producción y los costos de mantenimiento de la instalación.

5. ESTADO DEL ARTE.

Al realizarse la revisión bibliográfica en las bases de datos conocidas y recomendadas - en el idioma inglés y español -, se encontró en Argentina que una empresa llamada PARAGONTECH LOGSIS SRL es pionera en la aplicación de la simulación al estudio y mejora de procesos logísticos en ese país; cuenta entre sus clientes con PETROBRAS, GRUPO TECHINT, GRUPO ARCELOR MITTAL²⁷. PARAGONTECH LOGSIS SRL tiene una alianza estratégica con PARAGON TECNOLOGÍA de Brasil con quien participa en diversos proyectos en Latinoamérica, entre los que se puede citar: *Ampliación del Canal de Panamá*, el cual consiste en un modelo de capacidad que simula el tránsito de la demanda proyectada, por día, mes y año para un periodo determinado con el fin de establecer los momentos en que el Canal alcanza insuficiencia de capacidad para atender la demanda con los niveles de calidad de servicio aceptables para cada segmento de mercado.

Entre otras investigaciones adelantadas por PARAGONTECH LOGSIS SRL encontramos algunas sobre simulaciones aplicadas a las operaciones de cargue y descargue de buques en puertos, la intención en éstas es simular los arribos de los buques a los puertos los cuales consecuentemente generan problemas de congestión de puerto, colapsos de capacidad operativa, sobrecostos y todo tipo de problemas logísticos.

Aún cuando se han aplicado estudios de simulación en operaciones portuarias no se ha encontrado antecedentes de investigaciones donde se presente un modelo que sirva de soporte para analizar la capacidad operativa de la operación de descargue de carbón por tractomulas con miras a determinar si

²⁷ Paz, Daniel (2008). Conferencia "Cómo Mejorar la Gestión Portuaria Mediante Simulación", <http://www.paragontechlogsis.com.ar/>

la operadora portuaria y logística de carbón CARBOSAN LTDA está aprovechando al máximo la capacidad instalada para la cual fue diseñado el sistema. Por otro lado y no siendo menos importante, las directivas de CARBOSAN LTDA manifiestan no haber realizado ninguna investigación o estudio de este tipo a lo largo de su trayectoria.

En las revisiones realizadas a fuentes bibliográficas de la Universidad del Magdalena se encontró un trabajo de grado titulado “ANÁLISIS DEL SISTEMA DE DESCARGUE DE TRACTOMULAS CON CARBÓN CON TRES PLATAFORMAS POR MEDIO DE UN MODELO DE SIMULACIÓN EN ARENA 10.0® ROCKWELL SOFTWARE EN PRODECO S.A. SANTA MARTA”²⁸ el cual tenía como propósito fundamental simular el proceso de descargue con tres plataformas y compararlo con el proceso antes de la implementación de una tercera plataforma de descargue; el estudio estaba encaminado a determinar si esa plataforma adicionada solucionaría o no la problemática que se presentaba con el descargue de carbón con dos plataformas. Este trabajo de grado aunque fue realizado en la misma línea de Investigación (Simulación de procesos con ARENA) y también al proceso de descargue de carbón, coincidiendo entonces en línea de investigación y proceso objeto de estudio, difiere notablemente del presente proyecto en el propósito del mismo ya que como se ha mencionado a lo largo del desarrollo de este trabajo de investigación, el propósito es analizar la Capacidad Operativa del proceso de descargue de carbón soportados en la simulación utilizando la herramienta ARENA 12.0, para determinar si la empresa está haciendo uso o no de la máxima capacidad y las razones de ello.

²⁸ **Rodríguez L., Marilyn; Pertuz Madrid, Mabel. (2006.)** *Trabajo de Grado*, Universidad del Magdalena, Santa Marta (Mag.) Colombia.

6. METODOLOGÍA.

6.1 ÁREA Y OBJETO DE ESTUDIO.

Figura 17. Área de Estudio: CARBOSAN LTDA en Sociedad Portuaria de Santa Marta.



Fuente: Google Earth

La investigación fue realizada y fue aplicada en los patios 5 y Ancón, donde opera la empresa CARBOSAN LTDA ubicados en la Sociedad Portuaria de Santa Marta; en estos patios se descarga y almacena el carbón proveniente de las minas de la Guajira y del Cesar, propiedad de Carboandes/Glencore y Carbones Colombianos del Cerrejón S.A. – CCC.

Se trabajó en la simulación de las operaciones de la actividad de descargue de carbón y se tuvo en cuenta todos los factores que potencialmente podían generar las demoras, retrasos y cuellos de botellas que impiden el eficiente desarrollo de las actividades y el aprovechamiento de la capacidad operativa.

6.2 OBSERVACIÓN Y DEFINICIÓN DEL OBJETO DE ESTUDIO.

Se realizaron visitas para conocer el proceso, en estas se observó de manera atenta cada una de las actividades que conforman el proceso de descargue de carbón, sus interrelaciones y sus componentes; se indago con los colaboradores de la empresa acerca de la problemática presentada, se identificaron las situaciones que contribuyen a la generación del problema planteado, el cual está orientado hacia las demoras y retrasos en los procesos y finalmente la reducción de la eficiencia del mismo.

En esta fase se determinó qué se quería simular, qué datos serían requeridos y qué información debía generar el modelo terminado: se estableció que el objeto de estudio (qué simular) serían las operaciones logísticas que conforma la actividad de descargue por tractomulas; de la misma manera, se determinó que se obtendrían datos de rendimientos de los volcadores, es decir, cuantos vehículos serían descargados por mes e información de colas y demoras del sistema. Al suministrarnos el modelo los resultados nos proveeremos de información para analizar la capacidad operativa.

6.3 CÁLCULO DEL TAMAÑO MUESTRAL.

Uno de los dilemas que se presenta cuando se inicia la elaboración del proyecto es decidir sobre los individuos o elementos que se incluirán en el estudio: qué

características tendrán (criterios de inclusión y exclusión), cuantos datos se incluirán (tamaño de la muestra) y cómo se elegirán para que entren a formar parte del estudio (técnica de muestreo). Estudiar a toda la población, que sería lo ideal para conocer lo que se pretende estudiar, es casi imposible en la práctica. Entre los motivos que lo impiden se encuentran la falta de tiempo, la escasez de recursos humanos y económicos y la dificultad para acceder a todos los datos, entre otros, es por ello que se estudia sólo a una parte de ellos, para, posteriormente, generalizar o inferir los resultados obtenidos a toda la población.

El muestreo es una herramienta de la investigación científica. Su función básica es determinar que parte de una realidad en estudio (población o universo) debe examinarse con la finalidad de hacer inferencias sobre dicha población. Obtener una muestra adecuada significa lograr una versión simplificada de la población, que reproduzca de algún modo sus rasgos básicos.²⁹

Este procedimiento es necesario ya que nos permitió decidir si se estudia a toda la población o, en caso de que ésta sea demasiado grande (como es el caso para este estudio), a un número de datos representativos, que no han de ser ni pocos ni demasiados, sino simplemente los necesarios.

Para el caso particular de esta investigación y debido a que no se conocía el tamaño de la población de datos se usó el método de cálculo de tamaño de muestra para poblaciones infinitas, el cual consiste en aplicar la siguiente fórmula, la cual permitió hallar el tamaño de la muestra adecuado para trabajar cada grupo de datos:

²⁹ www.hsa.es/id/investigacion/uai/uai_docs/muestreo/muestreo.htm - 51k Visitado 8 de mayo de 2009. 10:40 am.

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 * P * Q}{e^2}$$

De donde:

n = Tamaño muestral.

Z = Valor correspondiente a la distribución de Gauss 1,96 para $\alpha = 0,05$ y 2,58 para $\alpha = 0,01$. En nuestro caso $Z_{\alpha/2}$ depende del nivel de confianza que queramos que tengan nuestros datos. Por lo general se trabaja con un nivel del 95% lo que nos daría un alfa de 0.05, entonces:

$$Z_{\alpha/2} = Z_{0.025} = 1.96$$

Los valores de p y q deben ser tales que $p + q = 1$, y son una medida de la incertidumbre que se tiene de la información deseada. Se sugiere un valor de 0.5 para cada uno para que el tamaño de la muestra hallado con estos valores sea mayor que con otros.

$$p = 0.5$$

$$q = 0.5$$

e = es el Error que se prevé cometer, el permitido en el estudio. Este error se acepta como válido entre 0.01 y 0.1 para los proyectos de este tipo. Por ejemplo, para un error del 10%, introduciríamos en la fórmula el valor 0,1. Regularmente se suele sugerir trabajar con un nivel de confianza del 95 % y un valor de error del 5% lo cual nos daría un $e = 0.05$, este valor de e se puede aumentar un poco para reducir el tamaño de la muestra; para el caso particular de este estudio se trabajó con un nivel de confianza del 93% y un error del 7% es decir, un $e = 0,07$ con el fin de reducir el tamaño de la muestra de tal forma que se facilite la toma de los datos

manteniendo un valor del error inferior al 10% que garantice la confiabilidad del tamaño de muestra y por consiguiente del estudio en general.

Al tomarse todos los valores sugeridos se obtuvo lo siguiente:

$$n = \frac{(1.96)^2 * 0.5 * 0.5}{0.07^2} = 196$$

Lo que significa que se tomaron 196 datos de tiempos de cada proceso: Tiempos entre arribos de los vehículos, Descarpe, descargue, limpieza y lavado de vehículos.

6.4 RECOLECCIÓN DE DATOS.

Una vez se estableció el tamaño de la muestra de los datos a tomar se procedió a diseñar el instrumento mediante el cual se realizó la recolección de los datos y medición de los tiempos de operaciones, el cual consistió en plantillas donde se consignaron los datos de interés arrojados por el sistema, en estas plantillas fueron registrados los datos de tiempos entre arribos (cada cuanto llegaba a la entrada del puerto un grupo de vehículos cargados), tiempos de atención en la entrada, tiempos de transportes (rutas), tiempo de descarpe de mulas, tiempos de operaciones, de limpieza de compuertas y tiempos de lavado, los cuales se tomaron con la ayuda de cronómetros durante observación de las operaciones; estos datos se tomaron en diferentes momentos y en cada uno de las estaciones componentes del sistema, es decir, en la entrada, en la zona de descarpe, en cada uno de los dos volcadores correspondientes a cada patio, en la zona de limpieza y en la zona de lavado; la intención de tomar tiempos era en primera instancia corroborar que la información suministrada por la empresa coincidía con los tiempos de operación tomados y poder validar la veracidad de mismos, ya que

la empresa se constituyó como la fuente principal de información y de datos históricos de las operaciones; ésta nos facilitó los registros de los tiempos entre arribos, tiempos de operaciones en volcadores, medidas de bandas, capacidad de almacenamiento de patios, rata de descargue de los volcadores, tiempos de duración de paradas por fallas (internas y externas) entre otros, los cuales fueron utilizados para alimentar el modelo de simulación, de la misma manera se tomaron datos de tiempos de atención en portería, tiempos de descarpe, tiempos de transportes (o tiempos de ruta), tiempos de limpieza y tiempos de lavado, que se presentan en el proceso y que la empresa desestima debido a que consideran que son poco relevantes, pero que para este estudio son significativos ya que representan una proporción del tiempo total de la operación.

A continuación se presenta un consolidado de los datos recolectados para cada parte del proceso:

6.4.1 Tiempos entre arribos.

Los tiempos entre arribos hacen referencia a los tiempos entre llegadas de los grupos de vehículos a la entrada del puerto, teniendo en cuenta que los jefes de operación solicitan a los patios de acopio grupos de vehículos que oscilan entre 7 y 18 cada una hora; para el modelo de simulación propuesto se hizo necesario seleccionar datos de los tiempos entre arribos de los vehículos cargados con carbón y de los vehículos cargados con otro tipo de carga discriminándolos de acuerdo a la jornada de trabajo (día o noche) debido a que en cada jornada se atiende un cliente en particular el cual tiene determinado un lugar específico para el descargue.

El cálculo del tamaño de la muestra arrojó que debieron tomarse al menos 196 datos de cada una de las partes del proceso, sin embargo de este tipo de datos se seleccionaron 2074 datos de tiempos entre arribos de Carbón en el turno del día y 2643 en el de la noche, para otro tipo de cargas (banano, graneles, etc. que llegan al puerto) los datos de tiempos entre arribos fueron 2487 en el turno del día y 490 en el turno de la noche lo cual nos indica que nos encontramos por encima del tamaño de muestra mínimo dándole mayor confiabilidad al estudio. El consolidado de los datos se muestra en los archivos adjuntos a este documento. (Ver anexo 1).

6.4.2 Tiempos de atención en portería.

Los tiempos de atención en portería corresponden al tiempo que transcurre mientras el conductor del vehículo entrega al responsable de seguridad la remesa y es registrado en la base de datos de la portería, se observó que para cada tipo de vehículos (Particulares, Carga refrigerada, carga de carbón, etc.) el tiempo de atención varía dado que por cada tipo de vehículo se requieren operaciones adicionales de inspección de las condiciones de seguridad, para el caso de las tractomulas cargadas de carbón, los tiempos son relativamente cortos debido a que la operación solo implica entregar la remesa y registrar los datos del vehículo y transportador en la base de datos del puesto de control en la entrada de la Sociedad Portuaria de Santa Marta. Sin embargo, los tiempos de atención varían debido a que en ocasiones los datos del vehículos y del transportador no se encuentran registrado en las bases de datos del puesto de control por lo que se hace necesario realizar esta operación, en los casos en que existe el registro la operación solo consiste en extraer de la base de datos la información. A continuación se presenta una tabla donde se muestran los 248 datos tomados en esta parte de proceso, número de datos superior al mínimo sugerido en el cálculo de tamaño muestral:

Tabla 5. Tiempos de atención en portería (min).

1.7	1.4	1.2	1.6	1.6	1.2	1.4	1.7	1.2	1.5	1.6	1.3
1.3	1.3	1.2	1.4	1.3	1.7	1.4	1.4	1.6	1.6	1.3	1.6
1.7	1.6	1.6	1.5	1.7	1.3	1.5	1.5	1.5	1.3	1.4	1.7
1.2	1.7	1.5	1.7	1.6	1.3	1.3	1.3	1.4	1.4	1.6	1.3
1.4	1.2	1.2	1.3	1.7	1.7	1.5	1.3	1.3	1.5	1.4	1.4
1.3	1.6	1.2	1.2	1.3	1.5	1.2	1.3	1.4	1.2	1.4	1.6
1.7	1.3	1.4	1.4	1.6	1.4	1.3	1.4	1.3	1.4	1.3	1.3
1.6	1.5	1.3	1.4	1.5	1.5	1.5	1.5	1.2	1.2	1.6	1.4
1.4	1.2	1.5	1.3	1.6	1.5	1.7	1.4	1.2	1.4	1.6	1.6
1.6	1.2	1.4	1.4	1.7	1.2	1.6	1.5	1.7	1.5	1.5	1.3
1.3	1.3	1.4	1.3	1.2	1.5	1.3	1.6	1.6	1.7	1.6	1.3
1.3	1.4	1.2	1.6	1.3	1.4	1.7	1.4	1.5	1.6	1.3	1.2
1.4	1.2	1.6	1.6	1.6	1.6	1.3	1.5	1.3	1.4	1.2	1.3
1.6	1.7	1.6	1.2	1.5	1.5	1.3	1.3	1.3	1.7	1.3	1.3
1.7	1.2	1.6	1.4	1.7	1.2	1.3	1.5	1.6	1.6	1.6	1.6
1.6	1.7	1.5	1.7	1.2	1.5	1.5	1.7	1.5	1.4	1.6	1.5
1.2	1.7	1.4	1.4	1.6	1.7	1.6	1.6	1.2	1.4	1.4	1.6
1.5	1.3	1.5	1.6	1.6	1.2	1.3	1.4	1.6	1.6	1.4	
1.6	1.6	1.4	1.5	1.4	1.3	1.2	1.3	1.3	1.6	1.4	
1.3	1.6	1.5	1.5	1.6	1.5	1.3	1.6	1.6	1.6	1.7	
1.3	1.2	1.5	1.5	1.5	1.5	1.2	1.4	1.7	1.5	1.4	

Fuente: Investigadores (2009).

6.4.3 Tiempos de ruta (de entrada a Patio 5 y de entrada a Patio Ancón).

Estos datos se calcularon teniendo en cuenta la velocidad máxima de conducción permitida en el puerto y las distancias establecidas que hay desde la portería hasta cada uno de los patios. La velocidad máxima es de 20 Km./h y las distancias son de 700 m. Hasta Patio Ancón y de 770 m. Hasta Patio 5 tal y como se muestra en las figuras 18 y 19.

Figura 18. Distancia desde Portería hasta Patio 5.



Fuente: Google Earth

Figura 19. Distancia desde Portería hasta Patio Ancón.



Fuente: Google Earth

Teniendo estos datos se calcularon los tiempos de transporte utilizando la fórmula:

$$V = \frac{x}{t}$$

Donde V es la velocidad, x es la distancia y t es el tiempo, despejando esta fórmula se pudo hallar el tiempo que toma recorrer cada una de las distancias establecidas a una velocidad constante de 20 Km./h, de este modo la fórmula nos queda:

$$t = \frac{x}{V}$$

Al reemplazar los datos anteriores en la fórmula tenemos que:

$$\text{Tiempo hasta Patio Ancón: } t = \frac{0,59Km}{20Km/h} = 0,0295h \approx 1,77 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo hasta Patio 5: } t = \frac{0,77Km}{20Km/h} = 0,0385h \approx 2,31 \text{ min}$$

Para corroborar esta información se procedió a tomar con cronómetro el tiempo desde la entrada al puerto hasta cada uno de los patios a una velocidad constante de 20 Km./h en 10 ocasiones, el tiempo marcado en los cronómetros fue respectivamente de 1,77 minutos hasta patio Ancón y 2,31 minutos hasta Patio Cinco en promedio, confirmando así la veracidad del cálculo y de la información lo cual permite considerar estos datos como constantes dentro del estudio.

Tabla 6. Datos confirmatorios de Tiempo de Ruta de Portería a Patio 5 (min).

2.32	2.31	2.31	2.31	2.32	2.32	2.31	2.31	2.31	2.32
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 7. Datos confirmatorios de Tiempo de Ruta de Portería a Patio Ancón (min).

1.77	1,76	1,78	1,76	1,77	1,78	1,77	1,76	1,77	1,77	1,77	1,76
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Fuente: Investigadores (2009).

6.4.4 Tiempos de Descarpe.

Los tiempos de descarpe de los vehículos indican el tiempo que toma retirar la carpa que traen las tractomulas por condiciones de seguridad y mantenimiento del material, esta operación es realizada de forma conjunta por dos operarios; al tomar los tiempos de esta operación se pudo notar que su comportamiento es muy regular oscilando alrededor de los 5 minutos cuando las condiciones climáticas son las adecuadas; cuando la brisa toma grandes velocidades el tiempo de descarpe incrementa casi al doble. Para cada Patio (5 y Ancón) se tomaron 199 y 198 respectivamente, tal y como se presenta en las siguientes tablas:

Tabla 8. Datos de Tiempos de descarpe Patio 5 (min).

5.0	7.1	3.5	3.5	4.2	5.1	3.2	2.3	6.5	3.1	4.6	4.3	3.4	4.9
4.5	5.4	5.2	2.3	3.1	3.1	4.3	5.0	7.8	7.6	5.9	8.1	6.4	6.9
2.6	7.3	4.1	3.2	3.3	3.5	3.6	4.3	5.5	2.1	3.9	3.2	7.1	7.2
2.5	8.3	2.6	2.5	3.3	4.5	5.1	5.0	6.6	2.8	5.2	5.1	8.1	6.1
3.0	5.4	5.1	3.1	3.4	4.4	4.5	4.3	4.8	2.9	3.9	4.8	7.5	
3.3	5.5	2.6	2.5	3.6	5.3	3.4	3.3	6.9	6.2	7.8	3.9	6.7	
2.4	4.4	2.3	2.1	3.3	3.5	4.4	2.4	8.1	3.7	3.3	4.6	4.6	
4.4	4.6	4.1	2.1	4.2	4.4	5.1	4.4	8.1	7.1	3.0	2.7	4.7	
2.3	5.1	4.5	3.1	3.4	4.0	5.5	3.2	3.9	4.7	4.9	5.1	3.0	
3.1	4.1	3.6	2.5	3.4	3.4	3.2	5.6	2.7	3.2	4.3	7.5	6.6	
7.1	2.5	2.6	6.0	2.5	3.5	4.5	2.8	2.7	5.9	3.1	8.3	7.0	
4.2	3.2	3.5	5.1	2.6	4.5	4.2	7.1	3.3	7.9	7.8	2.7	2.7	
6.2	2.4	2.5	4.3	2.4	4.2	2.1	2.3	3.9	7.0	7.5	7.6	4.9	
4.4	2.4	3.3	4.4	3.4	2.3	3.2	4.3	7.0	5.4	6.3	2.9	4.7	
6.5	3.6	4.4	2.6	4.2	4.1	3.2	6.0	2.6	2.6	3.3	5.3	3.2	

Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 9. Datos de Tiempos de descarpe Patio Ancón (min).

4.3	4.6	3.3	3.9	1.9	4.2	1.8	4.3	4.6	3.3	3.9	1.9	4.2
3.6	3.5	2.9	2.7	4.1	2.9	3.4	3.6	3.5	2.9	2.7	4.1	2.9
2.5	3.7	3.4	4.7	3.2	2.7	2.4	2.5	3.7	3.4	4.7	3.2	2.7
3.9	1.9	4.2	1.8	4.3	4.6	3.3	3.9	1.9	4.2	1.8	4.3	4.6
2.7	4.1	2.9	3.4	3.6	3.5	2.9	2.7	4.1	2.9	3.4	3.6	3.5
4.7	3.2	2.7	2.4	2.5	3.7	3.4	4.7	3.2	2.7	2.4	2.5	3.7
1.8	4.3	4.6	3.3	3.9	1.9	4.2	1.8	4.3	4.6	3.3	3.9	1.9
3.4	3.6	3.5	2.9	2.7	4.1	2.9	3.4	3.6	3.5	2.9	2.7	4.1
2.4	2.5	3.7	3.4	4.7	3.2	2.7	2.4	2.5	3.7	3.4	4.7	3.2
3.3	3.9	1.9	4.2	1.8	4.3	4.6	3.3	3.9	1.9	4.2	1.8	4.3
2.9	2.7	4.1	2.9	3.4	3.6	3.5	2.9	2.7	4.1	2.9	3.4	3.6
3.4	4.7	3.2	2.7	2.4	2.5	3.7	3.4	4.7	3.2	2.7	2.4	2.5
4.2	1.8	4.3	4.6	3.3	3.9	1.9	4.2	1.8	4.3	4.6	3.3	3.9
2.9	3.4	3.6	3.5	2.9	2.7	4.1	2.9	3.4	3.6	3.5	2.9	2.7
2.7	2.4	2.5	3.7	3.4	4.7	3.2	2.7	2.4	2.5	3.7	3.4	4.7
1.8												

Fuente: Investigadores (2009).

6.4.5 Tiempos de maniobra en Patio 5.

Los tiempos de maniobra corresponden al tiempo transcurrido desde que la tractomula es descarpada y avanza hacia los volcadores hasta ubicarse al pie de las plataformas a esperar la salida de los vehículos que están siendo descargados, esta operación solo la realizan los vehículos destinados a descargar en Patio 5 dada las características de la configuración del Sistema el cual es notablemente diferente al de Patio Ancón en el acceso a los volcadores.

Para esta operación se tomaron 332 datos, los cuales se presentan en la tabla 10.

Tabla 10. Tiempos de maniobra en Patio 5 (min).

4.35	10.23	24.51	8.76	35.45	3.73	20.23	18.82	36.80	27.58	18.35	26.04	33.03	7.62	31.37	22.34	8.41
4.85	9.67	18.90	15.74	22.86	32.68	19.83	36.92	37.07	1.73	6.27	32.05	6.16	3.57	34.32	5.77	6.15
12.68	11.32	29.11	10.24	36.82	8.15	28.43	21.45	24.49	14.73	13.44	7.03	26.27	33.21	8.25	32.53	18.77
15.75	20.95	25.82	11.13	3.52	27.78	21.36	12.88	12.19	4.20	4.70	37.07	24.42	16.46	13.91	32.14	7.82
19.30	20.38	23.09	6.71	34.43	13.56	29.70	5.66	7.42	33.83	8.47	31.40	23.04	35.00	10.53	28.49	3.91
20.65	19.05	14.25	29.80	13.89	6.56	12.17	19.84	23.76	21.09	25.85	34.41	31.74	19.00	15.17	16.10	4.46
29.17	22.47	7.87	22.33	33.91	21.12	4.74	15.38	17.52	6.17	9.33	0.22	17.51	31.90	21.64	5.08	13.45
4.53	24.02	5.02	20.79	16.52	30.32	6.40	11.34	15.28	10.66	4.14	29.46	13.33	25.17	34.74	32.71	23.36
9.77	28.30	23.18	25.22	12.03	2.21	28.99	10.38	35.12	17.13	20.39	4.33	13.37	22.79	2.15	14.74	26.57
38.25	25.07	6.68	12.45	25.97	11.46	0.49	8.56	33.97	28.84	22.31	13.54	10.83	24.46	35.23	12.07	34.46
26.08	28.75	33.10	27.48	23.43	31.07	24.50	25.91	10.46	5.01	4.50	17.81	26.15	19.29	9.07	28.30	25.38
22.58	38.43	6.50	14.47	10.75	23.45	21.35	29.18	15.72	18.53	20.14	12.20	32.81	19.06	28.68	5.56	2.42
15.43	28.62	25.61	25.42	7.83	14.73	29.50	3.77	9.74	28.07	22.62	7.11	15.20	28.91	15.48	20.41	
12.88	5.12	9.25	8.71	10.64	24.35	1.74	3.75	3.65	11.47	27.38	29.54	6.06	4.20	26.77	19.44	
32.88	4.63	15.78	14.75	11.64	3.89	27.83	0.02	12.33	19.20	29.30	29.08	0.81	0.48	4.48	31.07	
14.50	4.10	4.73	17.97	15.55	14.97	32.25	5.70	10.32	12.46	10.74	30.70	33.19	24.71	0.69	9.30	
1.33	6.28	2.48	18.90	5.51	10.81	6.45	23.58	34.62	0.82	10.70	28.99	32.15	11.69	20.21	9.82	
3.23	9.80	29.20	16.34	9.56	4.54	13.05	26.52	0.39	26.91	3.56	31.20	36.39	21.78	18.81	34.90	
6.65	32.99	12.84	27.87	35.14	23.60	31.62	0.25	9.45	7.47	14.75	24.98	8.00	22.93	19.17	13.64	
3.53	49.55	34.37	5.18	16.78	2.55	14.63	16.95	8.25	37.07	24.60	16.57	28.83	2.38	23.71	13.51	

Fuente: Investigadores (2009).

6.4.6 Tiempos de descargue de vehículos en volcadores.

Son los tiempos que toma la operación de descargue como tal, este tiempo es el transcurrido desde cuando el vehículo es ubicado en las plataformas volcadoras y se extrae de ellos el material (carbón). Se consideraron los tiempos de descargue de vehículos de los periodos desde enero hasta Abril de 2009. El consolidado de los datos tomados para cada uno de los volcadores de cada Patio se muestra en el archivo adjunto a este documento. (Ver anexo 2).

6.4.7 Tiempos de limpieza de compuertas.

Estos tiempos corresponden a la duración de la operación de limpieza de la compuerta trasera del vehículo por donde sale el carbón, para esta operación se consideraron 210 datos, estos se muestran a continuación:

Tabla 11. Tiempos de limpieza de Compuertas Patio 5 (min).

1.5	1.5	1.2	1.8	1.8	1.7	1.4	2.1	1.2	1.5
1.9	1.3	1.6	2.0	1.3	1.5	2.2	2.0	1.2	2.0
1.0	1.3	1.9	1.3	2.1	2.0	1.5	2.3	2.1	2.2
2.0	2.2	1.9	1.4	1.5	1.7	1.5	1.9	1.4	2.0
1.8	1.4	1.9	2.0	2.0	1.7	2.3	1.8	1.3	2.1
2.0	1.2	1.5	2.2	1.9	1.6	2.1	1.2	1.5	2.2
3.7	1.6	1.6	1.7	1.8	1.6	1.4	1.4	1.3	2.2
2.5	2.0	1.9	1.2	2.0	1.9	1.4	2.2	2.1	1.9
1.3	1.8	1.3	1.9	1.7	2.3	1.9	1.9	1.4	2.0
1.3	1.4	1.3	1.8	2.2	1.4	1.7	1.9	1.8	1.4
1.8	1.6	1.4	1.2	1.4	1.5	2.2	2.0	2.1	1.5
1.6	2.0	1.5	2.0	2.1	2.1	1.9	1.3	2.0	2.2
1.8	1.5	1.5	1.9	2.2	2.2	1.3	1.2	1.7	1.3
2.0	1.7	1.4	1.6	1.9	1.7	1.7	2.2	1.7	1.4
1.7	1.5	1.4	1.7	1.3	1.5	1.4	2.0	1.9	1.2
2.2	1.4	1.4	2.0	2.0	2.3	1.3	1.3	2.1	1.8

1.9	1.8	1.6	1.6	2.3	1.3	2.0	1.4	2.3	1.4
1.9	1.5	2.2	1.7	1.7	2.1	1.5	2.1	2.2	1.4
2.1	2.1	2.1	1.4	2.0	1.2	2.2	1.2	1.4	1.5
1.6	1.4	1.4	1.9	1.3	1.5	2.3	1.6	2.1	2.0
2.0	1.3	1.4	1.4						

Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 12. Tiempos de limpieza de Compuertas Patio 5 (min).

1.4	1.5	1.5	1.4	2.2	2.2	1.7	1.9	1.7	1.4
1.6	1.5	1.6	2.2	1.8	2.0	2.0	1.8	1.6	1.3
1.5	1.5	1.6	1.4	2.2	1.9	1.3	2.0	1.6	1.5
1.7	1.3	2.2	2.0	2.2	1.7	1.7	2.1	1.4	1.6
2.0	1.6	2.2	2.0	1.8	2.2	2.2	1.4	2.0	2.2
1.7	1.3	2.1	2.0	1.3	2.0	1.8	1.7	1.9	1.7
1.5	2.1	2.2	1.9	1.5	1.9	1.7	1.6	1.9	1.8
1.3	1.7	1.4	1.7	2.2	1.9	1.8	2.3	1.8	1.3
1.6	2.0	1.5	1.2	1.8	1.5	1.4	1.9	1.7	2.0
2.0	1.3	2.0	2.1	2.2	1.8	1.3	2.1	2.2	2.2
1.4	2.2	1.6	1.7	2.2	1.5	2.0	2.2	1.9	1.8
1.7	1.4	2.1	2.2	2.2	1.3	1.5	1.5	1.4	2.2
1.6	1.7	1.9	1.8	1.6	2.2	1.6	1.9	1.7	1.6
1.4	2.0	2.1	1.9	2.2	1.4	1.6	2.0	1.4	1.3
2.1	2.3	1.7	1.3	1.8	2.0	1.7	2.3	1.4	1.9
1.5	1.9	2.3	2.2	1.8	1.6	2.1	1.2	1.3	2.2
1.9	2.1	2.2	1.6	1.8	1.7	1.7	2.0	2.3	2.0
1.3	1.9	2.0	1.4	1.6	1.3	1.4	1.4	2.3	1.3
2.2	1.7	1.6	1.4	1.9	1.8	1.7	1.5	2.0	1.7
2.0	2.2	1.7	2.0	2.1	1.3	1.9	1.3	1.6	1.5
1.5	1.3	1.6	1.8	1.8	2.1	1.2	2.2	1.8	

Fuente: Investigadores (2009).

6.4.8 Tiempos de ruta (de Patio 5 a Zona de lavado y de Patio Ancón a Zona de lavado).

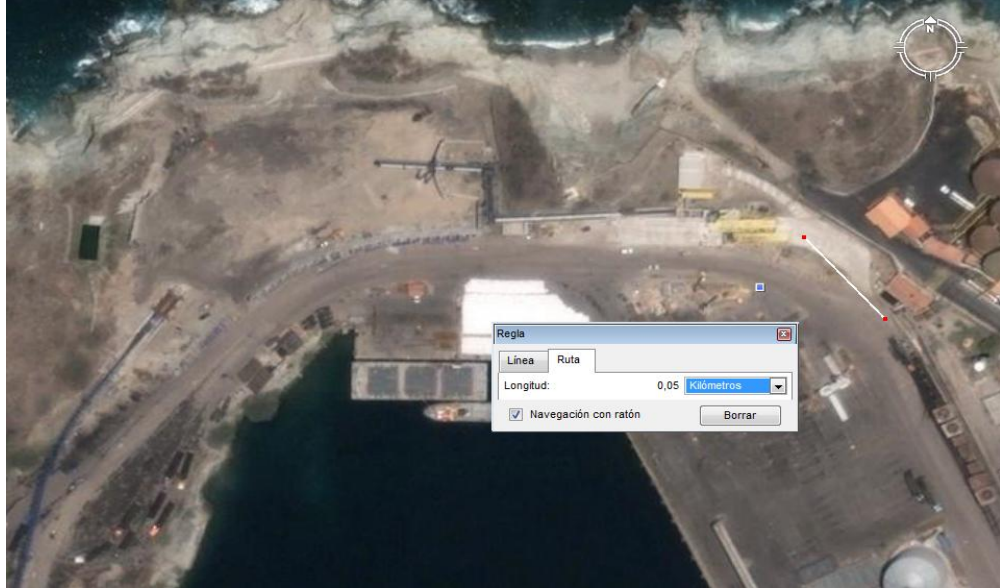
Corresponden a los tiempos de duración del transporte desde cada uno de los Patios a la zona de lavado, estos tiempos están dados de igual forma teniendo en cuenta las distancias comprendidas entre Patio 5 y la zona de lavado y entre Patio Ancón y la zona de lavado. Las cuales son de 0,05 Km desde Patio Ancón y de 0,35 Km desde Patio 5 tal y como se muestra en las figuras 20 y 21.

Figura 20. Desde Zona de limpieza Patio 5 hasta Estación de lavado, 0.35 Km.



Fuente: Google Earth

Figura 21. Desde Zona de limpieza Patio Ancón hasta Estación de lavado. 0.05 Km.



Fuente: Google Earth

Teniendo estos datos se calcularon los tiempos de transporte utilizando la misma fórmula que se utilizó para calcular los tiempos de ruta desde la portería a cada uno de los patios:

$$V = \frac{x}{t}$$

Donde V es la velocidad, x es la distancia y t es el tiempo, despejando esta fórmula se obtuvo el tiempo que toma recorrer cada una de las distancias establecidas de 0,35 Km de la zona de limpieza de patio 5 hasta la estación de lavado y de 0,05 Km de la zona de limpieza de patio Ancón hasta la estación de lavado, a una velocidad constante de 20 Km./h, de este modo la fórmula nos queda:

$$t = \frac{x}{V}$$

Al reemplazar los datos anteriores en la fórmula tenemos que:

$$\text{Tiempo hasta Patio Ancón: } t = \frac{0,05Km}{20Km/h} = 0,0025h \approx 0,15 \text{ min}$$

$$\text{Tiempo hasta Patio 5: } t = \frac{0,35Km}{20Km/h} = 0,0175h \approx 1,05 \text{ min}$$

Para corroborar esta información se procedió a tomar con cronómetro el tiempo desde la entrada al puerto hasta cada uno de los patios en 10 ocasiones, el tiempo marcado en los cronómetros fue respectivamente de 0,15 minutos desde patio Ancón y 1,05 desde Patio Cinco en promedio, confirmando así la veracidad del cálculo y de la información lo cual nos permite considerar estos datos como constantes dentro del estudio.

Tabla 13. Datos confirmatorios de Tiempo de Ruta de Zona de limpieza Patio 5 a Zona de lavado (min).

1,05	1,07	1,06	1,05	1,05	1,05	1,04	1,05	1,06	1,05
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 14. Datos confirmatorios de Tiempo de Ruta de Zona de limpieza Patio Ancón a Zona de lavado (min).

0,15	0,16	0,14	0,15	0,16	0,18	0,14	0,15	0,15	0,15	0,15	0,16
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Fuente: Investigadores (2009).

6.4.9 Tiempos de lavado.

Hacen referencia a los tiempos de duración de la operación de lavado de los vehículos que han salido del proceso de descargue; para esta operación se

tomaron 209 datos, cantidad que supera la cantidad mínima requerida del tamaño muestral calculada, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 15. Datos de Tiempos de lavado (min).

0.3	0.5	0.6	1.1	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	1.6
0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.1	0.4	0.4	0.4	1.0
0.9	0.4	1.4	0.3	0.3	0.3	0.3	0.7	0.4	0.3
1.0	0.5	0.4	0.3	1.0	0.4	0.5	0.3	0.3	0.8
1.0	0.3	0.3	0.5	0.7	0.3	0.3	0.6	0.5	1.3
1.6	0.7	0.6	0.3	0.4	0.3	0.3	0.5	0.3	0.6
1.0	0.3	1.0	0.4	0.3	0.5	0.4	0.3	0.3	1.0
0.3	0.3	0.8	0.7	0.2	0.5	0.3	0.4	0.4	0.5
0.8	0.6	0.8	0.3	0.3	0.7	0.4	0.6	0.3	0.3
1.3	0.8	0.2	0.3	0.2	0.3	0.4	0.7	0.4	0.4
0.6	0.2	0.3	0.6	0.3	0.4	0.2	0.3	0.4	0.6
1.0	0.8	0.8	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.2	0.5
0.5	0.6	0.5	0.3	0.5	0.4	0.4	0.5	0.5	0.5
0.3	0.5	0.6	0.1	0.5	0.5	0.5	0.4	0.4	0.7
0.4	0.3	0.4	0.4	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.3
0.6	0.3	0.6	0.5	0.3	0.3	0.3	0.4	0.5	0.2
0.5	0.3	0.4	0.3	0.9	0.4	0.3	0.3	0.3	0.5
0.5	0.5	1.4	0.6	0.5	0.4	0.4	0.4	0.3	0.3
0.7	0.8	0.8	0.9	0.5	0.4	1.2	0.4	0.4	0.4
0.3	1.0	0.8	0.5	0.8	0.3	0.6	0.4	1.0	0.5
0.2	0.5	0.6	1.0	0.6	0.4	0.3	0.3	1.0	0.3

Fuente: Investigadores (2009).

6.5 TEST DE RACHAS PARA ALEATORIEDAD DE UNA MUESTRA.

A veces al realizar un muestreo, puede llegar a influir el orden temporal o espacial en que las muestras han sido elegidas, con lo cual no estamos en las condiciones de un muestreo aleatorio simple, ya que la ley de probabilidad varía de una observación a otra. También podemos denominar a este contraste como test de

independencia de las observaciones de una muestra. Se denomina **racha** a una sucesión de valores de la misma categoría.³⁰

Para este modelo fue considerada una muestra de tamaño n que ha sido dividida en dos categorías con n_1 y n_2 observaciones cada una (suministrados por la empresa), las cuales debido al gran número de datos se organizaron de la siguiente forma:

Tabla 16. Categoría de las observaciones

N	n1	n2
Tiempos entre arribos Carbón.	Tiempos entre arribos Carbón día.	Tiempos entre arribos Carbón noche.
Tiempos entre arribos Otras cargas.	Tiempos entre arribos Otras cargas día.	Tiempos entre arribos Otras cargas noche.
Volcadores Patio Cinco.	Volcadores 1 Patio Cinco.	Volcadores 2 Patio Cinco.
Volcadores Patio Ancón.	Volcadores 1 Patio Ancón.	Volcadores 2 Patio Ancón.

Fuente: Investigadores (2009).

Para el análisis de los datos se utilizó la herramienta statgraphics centurión, estos datos son introducidos en el Test for Randomness en este contraste se comprueba que los datos hayan sido generados en un proceso aleatorio. Para este caso la hipótesis nula es que la muestra es aleatoria. Para llevar a cabo el contraste se realizan dos contrastes de rachas:

- El contraste de rachas por encima y por debajo de la mediana.
- Contraste de rachas ascendentes y descendentes.

³⁰ Tomado de :<http://www.bioestadistica.uma.es/libro/node150.htm>. VISITADO ULTIMA VEZ: 24 de junio de 2009-4:05 PM.

Tiempos entre arribos Carbón datos arrojados por Statgraphics.

Comparación de Medias.

- Intervalos de confianza del 95,0% para la media de A.LLEGADAS CARBON DIA: 4,25579 +/- 0,796317 [3,45947, 5,05211]
- Intervalos de confianza del 95,0% para la media de A.LLEGADAS CARBON NOCHE: 2,64334 +/- 0,205831 [2,43751, 2,84917]

Intervalos de confianza del 95,0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: 1,61245 +/- 0,822489 [0,789963, 2,43494]

Prueba t para comparar medias:

Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$

Hipótesis Alt.: $\text{media1} <> \text{media2}$

Suponiendo varianzas iguales: $t = 3,84243$ valor-P = 0,000121868

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

El StatAdvisor.

Esta opción ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, ó cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde 0,789963 hasta 2,43494. Puesto que el intervalo no contiene el valor 0, existe una diferencia

estadísticamente significativa entre las medias de las dos muestras, con un nivel de confianza del 95,0%.

También puede usarse una prueba-t para evaluar hipótesis específicas acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0,0. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna.

NOTA: Estos resultados asumen que las varianzas de las dos muestras son iguales. En este caso, la suposición es cuestionable puesto que los resultados de la prueba-F para comparar las desviaciones estándar sugieren que pueden existir diferencias significativas entre ellas.

Comparación de Desviaciones Estándar.

Tabla 17. Comparación de Desviaciones Estándar.

	<i>A.LLEGADAS CARBON DIA</i>	<i>A.LLEGADAS CARBON NOCHE</i>
Desviación Estándar	18,4941	4,78032
Varianza	342,03	22,8515
Grados de Libertad.	2071	2071

Fuente: Investigadores (2009).

Razón de Varianzas= 14,9675

Intervalos de confianza del 95,0%

Desviación Estándar de A.LLEGADAS CARBON DIA: [17,9476, 19,075]

Desviación Estándar de A.LLEGADAS CARBON NOCHE: [4,63908, 4,9305]

Razones de Varianzas: [13,7319, 16,3143]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$

$F = 14,9675$ valor-P = 0,0

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

El StatAdvisor.

Esta opción ejecuta una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras. También construye intervalos ó cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 13,7319 hasta 16,3143. Puesto que el intervalo no contiene el valor de 1, existe diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar de las dos muestras con un 95,0%.

También puede ejecutarse una prueba-F para evaluar una hipótesis específica acerca de las desviaciones estándar de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si el cociente de las desviaciones estándar es igual a 1,0 versus la hipótesis alternativa de que el cociente no es igual a 1,0. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Estadístico DN estimado = 0,462838

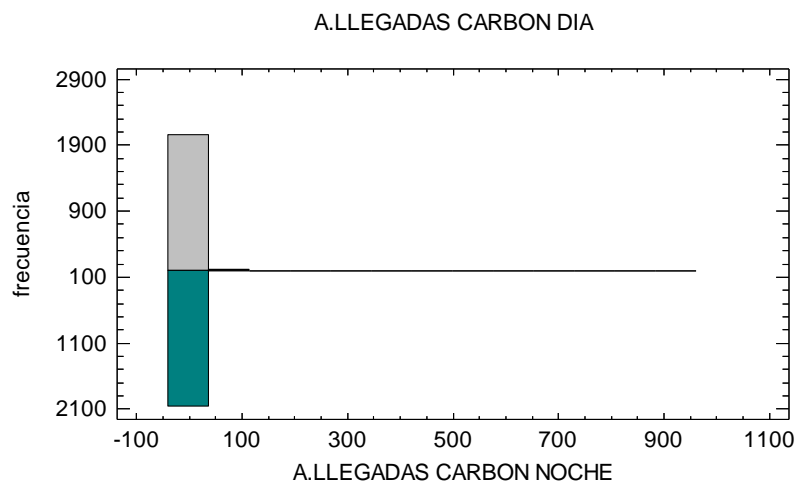
Estadístico K-S bilateral para muestras grandes = 14,8973

Valor P aproximado = 0,0

El StatAdvisor.

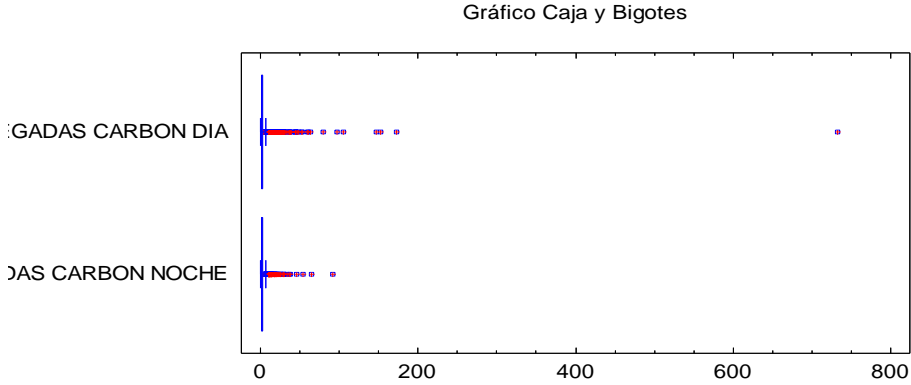
Esta opción ejecuta una prueba de Kolmogorov-Smirnov para comparar las distribuciones de las dos muestras. Esta prueba se realiza calculando la distancia máxima entre las distribuciones acumuladas de las dos muestras. En este caso, la distancia máxima es 0,462838, que puede verse gráficamente seleccionando Gráfico de Cuantiles de la lista de Opciones Gráficas. De particular interés es el valor-P aproximado para la prueba. Debido a que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones con un nivel de confianza del 95,0%.

Figura 22. Comparativo.



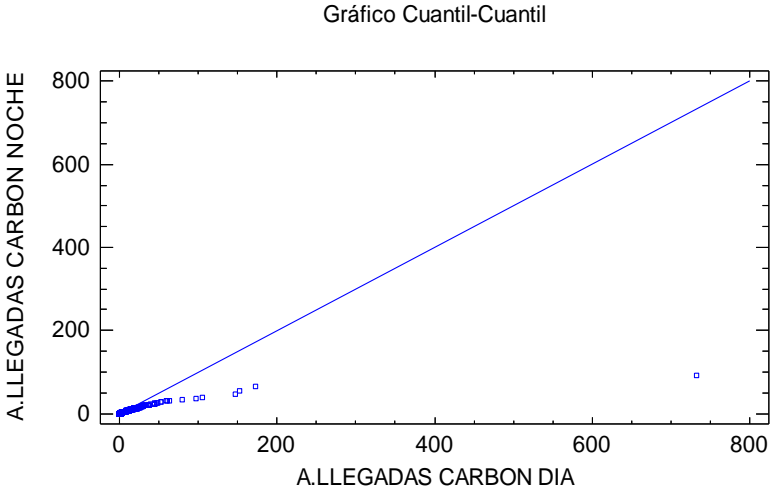
Fuente: Investigadores. (2009)

Figura 23. Gráficas de Caja y Bigotes.



Fuente: Investigadores. (2009).

Figura 24. Gráfico Cuantil-Cuantil.



Fuente: Investigadores. (2009).

Tiempos entre arribos Otras Cargas datos arrojados por Statgraphics

Comparación de Medias.

- Intervalos de confianza del 95,0% para la media de A.TIEMPOS ENTRE LLEGADAS DIA: 4,69595 +/- 1,25229 [3,44365, 5,94824]
- Intervalos de confianza del 95,0% para la media de A.TIEMPOS ENTRE LLEGADAS NOCHE: 4,8195 +/- 0,849943 [3,96956, 5,66944]

Intervalos de confianza del 95,0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: -0,123552 +/- 1,51349 [-1,63704, 1,38993]

Prueba t para comparar medias:

Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$

Hipótesis Alt.: $\text{media1} \neq \text{media2}$

Suponiendo varianzas iguales: $t = -0,16$ valor-P = 0,872876

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

El StatAdvisor.

Esta opción ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, ó cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -1,63704 hasta 1,38993. Puesto que el intervalo contiene el valor de 0, no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95,0%.

También puede usarse una prueba-t para evaluar hipótesis específicas acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0,0. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

NOTA: Estos resultados asumen que las varianzas de las dos muestras son iguales. En este caso, la suposición es cuestionable puesto que los resultados de la prueba-F para comparar las desviaciones estándar sugieren que pueden existir diferencias significativas entre ellas.

Comparación de Desviaciones Estándar.

Tabla 18. Comparación de Desviaciones Estándar.

	<i>A. TIEMPOS ENTRE LLEGADAS DIA</i>	<i>A. TIEMPOS ENTRE LLEGADAS NOCHE</i>
Desviación Estándar	29,0838	19,7395
Varianza	845,869	389,647
Grados de Libertad.	2071	2071

Fuente: Investigadores. (2009).

Razón de Varianzas= 2,17086

Intervalos de confianza del 95,0%

- Desviación Estándar de A.TIEMPOS ENTRE LLEGADAS DIA: [28,2245, 29,9975]
- Desviación Estándar de A.TIEMPOS ENTRE LLEGADAS NOCHE: [19,1563, 20,3596]

Razones de Varianzas: [1,99165, 2,3662]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$

F = 2,17086 valor-P = 0,0

Se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

El StatAdvisor.

Esta opción ejecuta una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras. También construye intervalos ó cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 1,99165 hasta 2,3662. Puesto que el intervalo no contiene el valor de 1, existe diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar de las dos muestras con un 95,0%.

También puede ejecutarse una prueba-F para evaluar una hipótesis específica acerca de las desviaciones estándar de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si el cociente de las desviaciones estándar es igual a 1,0 versus la hipótesis alternativa de que el cociente no es igual a 1,0. Puesto que el valor-P calculado es menor que 0,05, se puede rechazar la hipótesis nula en favor de la alterna.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov.

Estadístico DN estimado = 0,464768

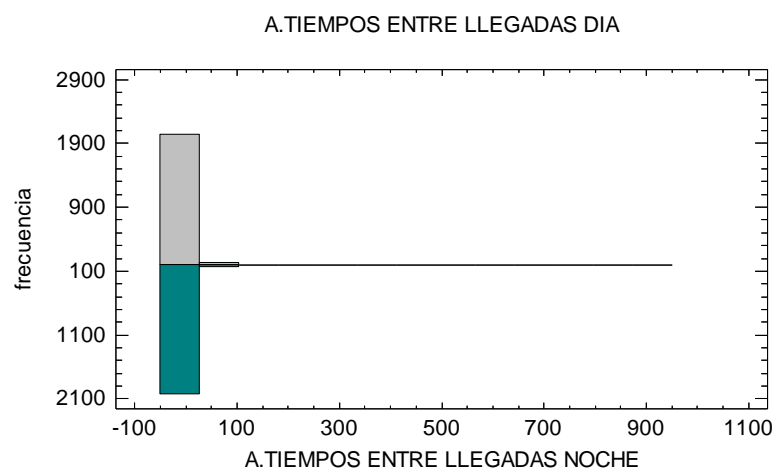
Estadístico K-S bilateral para muestras grandes = 14,9595

Valor P aproximado = 0,0

El StatAdvisor.

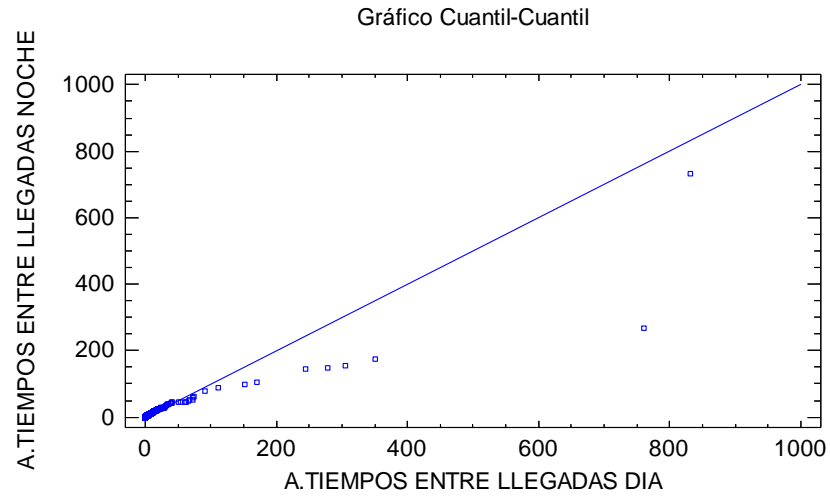
Esta opción ejecuta una prueba de Kolmogorov-Smirnov para comparar las distribuciones de las dos muestras. Esta prueba se realiza calculando la distancia máxima entre las distribuciones acumuladas de las dos muestras. En este caso, la distancia máxima es 0,464768, que puede verse gráficamente seleccionando Gráfico de Cuantiles de la lista de Opciones Gráficas. De particular interés es el valor-P aproximado para la prueba. Debido a que el valor-P es menor que 0,05, existe una diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones con un nivel de confianza del 95,0%.

Figura 25. Comparativo.



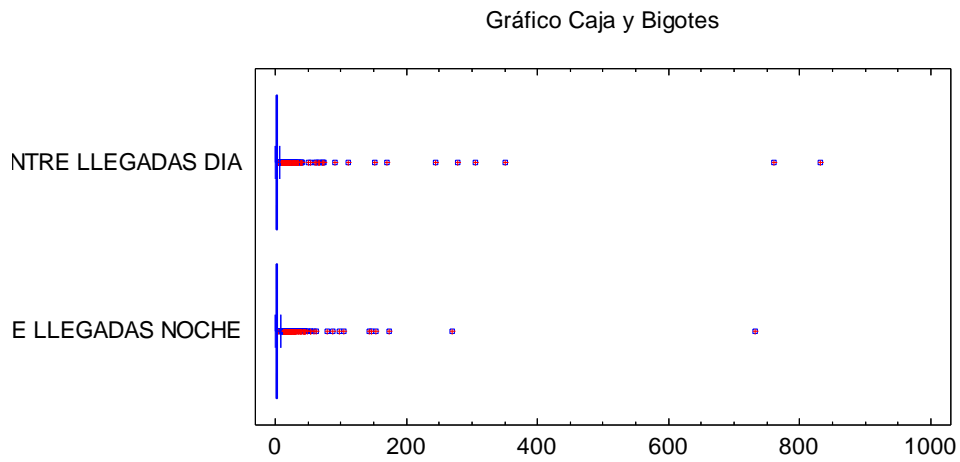
Fuente: Investigadores. (2009).

Figura 26. Gráfico Cuantil-Cuantil.



Fuente: Investigadores. (2009).

Figura 27. Gráfico de Caja y Bigotes.



Fuente: Investigadores. (2009).

Tiempos volcadores Patio Cinco datos arrojados por Statgraphics.

Comparación de Medias

- Intervalos de confianza del 95,0% para la media de A.VOLCADOR 1 P CINCO: 87,681 +/- 6,11047 [81,5705, 93,7915]
- Intervalos de confianza del 95,0% para la media de A.VOLCADOR 2 P CINCO: 88,4709 +/- 6,20083 [82,2701, 94,6717]

Intervalos de confianza del 95,0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: -0,789899 +/- 8,70924 [-9,49914, 7,91935]

Prueba t para comparar medias.

Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$

Hipótesis Alt.: $\text{media1} \neq \text{media2}$

Suponiendo varianzas iguales: $t = -0,177762$ valor-P = 0,858905

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

El StatAdvisor.

Esta opción ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, ó cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -9,49914 hasta 7,91935. Puesto que el intervalo contiene el valor de 0, no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95,0%.

También puede usarse una prueba-t para evaluar hipótesis específicas acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0,0. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

NOTA: Estos resultados asumen que las varianzas de las dos muestras son iguales. En este caso, esa suposición parece razonable, con base en los resultados de la prueba-F para comparar las desviaciones estándar.

Comparación de Desviaciones Estándar.

Tabla 19. Comparación de Desviaciones Estándar.

	A.VOLCADOR 1 P CINCO	A.VOLCADOR 2 P CINCO
Desviación Estándar	101,933	104,929
Varianza	10390,3	11010,2
Gl	1068	1099

Fuente: Investigadores. (2009).

Razón de Varianzas= 0,943701

Intervalos de confianza del 95,0%

Desviación Estándar de A.VOLCADOR 1 P CINCO: [97,7877, 106,448]

Desviación Estándar de A.VOLCADOR 2 P CINCO: [100,721, 109,508]

Razones de Varianzas: [0,837732, 1,06318]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$

$F = 0,943701$ valor-P = 0,340645

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

El StatAdvisor.

Esta opción ejecuta una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras. También construye intervalos ó cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0,837732 hasta 1,06318. Puesto que el intervalo contiene el valor de 1, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar de las dos muestras con un nivel de confianza del 95,0%.

También puede ejecutarse una prueba-F para evaluar una hipótesis específica acerca de las desviaciones estándar de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si el cociente de las desviaciones estándar es igual a 1,0 versus la hipótesis alternativa de que el cociente no es igual a 1,0. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Estadístico DN estimado = 0,0445999

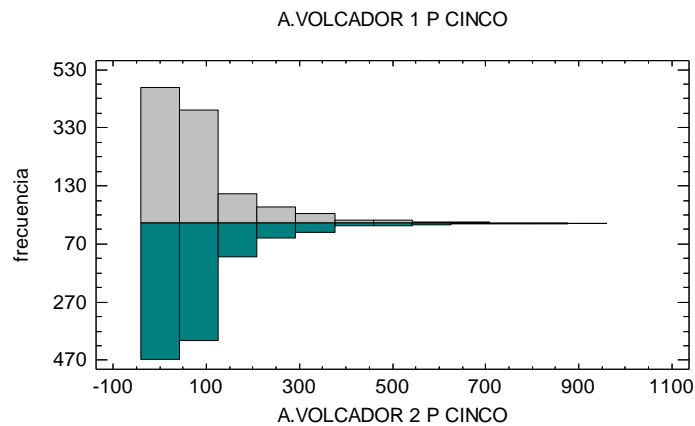
Estadístico K-S bilateral para muestras grandes = 1,03846

Valor P aproximado = 0,231571

El StatAdvisor.

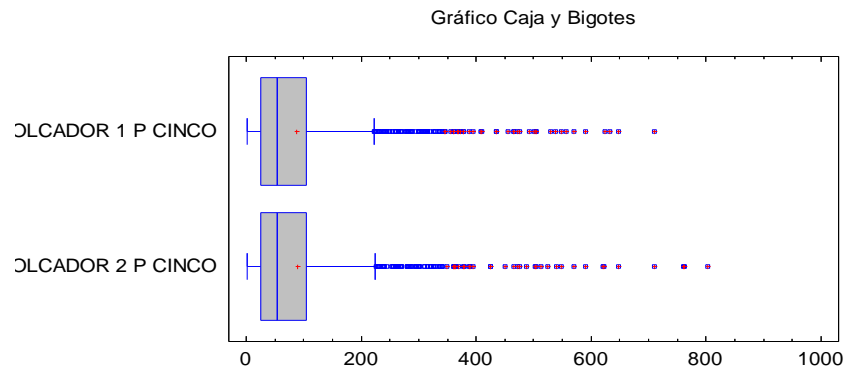
Esta opción ejecuta una prueba de Kolmogorov-Smirnov para comparar las distribuciones de las dos muestras. Esta prueba se realiza calculando la distancia máxima entre las distribuciones acumuladas de las dos muestras. En este caso, la distancia máxima es 0,0445999, que puede verse gráficamente seleccionando Gráfico de Cuantiles de la lista de Opciones Gráficas. De particular interés es el valor-P aproximado para la prueba. Debido a que el valor-P es mayor ó igual que 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones con un 95,0%.

Figura 28. Comparativo.



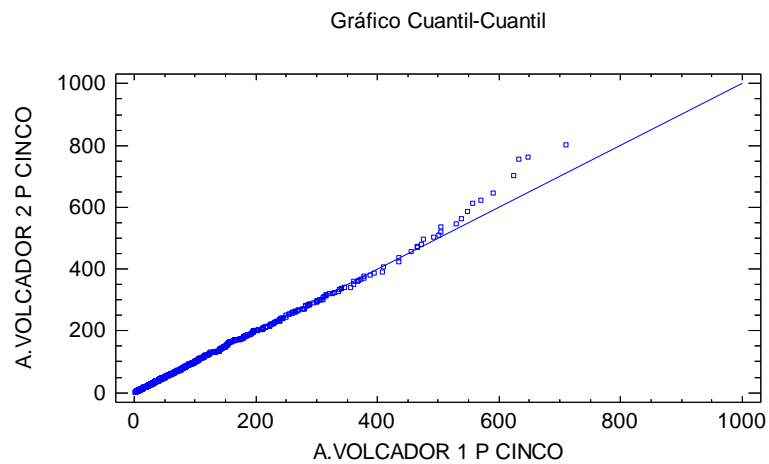
Fuente: Investigadores. (2009).

Figura 29. Gráfico Caja y Bigotes.



Fuente: Investigadores. (2009).

Figura 30. Gráfico Cuantil-Cuantil.



Fuente: Investigadores. (2009).

Tiempos Volcadores Patio Ancón arrojados por Statgraphics.

Comparación de Medias.

- Intervalos de confianza del 95,0% para la media de A.VOLCADOR 1 P
ANCON: 79,5276 +/- 5,82136 [73,7062, 85,349]
- Intervalos de confianza del 95,0% para la media de A.VOLCADOR 2 P
ANCON: 81,5691 +/- 6,04243 [75,5267, 87,6115]

Intervalos de confianza del 95,0% intervalo de confianza para la diferencia de medias suponiendo varianzas iguales: -2,0415 +/- 8,39661 [-10,4381, 6,35511]

Prueba t para comparar medias

Hipótesis nula: $\text{media1} = \text{media2}$

Hipótesis Alt.: $\text{media1} \neq \text{media2}$

Suponiendo varianzas iguales: $t = -0,476533$ valor-P = 0,633691

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

El StatAdvisor.

Esta opción ejecuta una prueba-t para comparar las medias de las dos muestras. También construye los intervalos, ó cotas, de confianza para cada media y para la diferencia entre las medias. De interés particular es el intervalo de confianza para la diferencia entre las medias, el cual se extiende desde -10,4381 hasta 6,35511. Puesto que el intervalo contiene el valor de 0, no hay diferencia significativa entre las medias de las dos muestras de datos, con un nivel de confianza del 95,0%.

También puede usarse una prueba-t para evaluar hipótesis específicas acerca de la diferencia entre las medias de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si la diferencia entre las dos medias es igual a 0,0 versus la hipótesis alterna de que la diferencia no es igual a 0,0. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

NOTA: Estos resultados asumen que las varianzas de las dos muestras son iguales. En este caso, esa suposición parece razonable, con base en los resultados de la prueba-F para comparar las desviaciones estándar.

Comparación de Desviaciones Estándar.

Tabla 20. Comparación de Desviaciones Estándar.

	A.VOLCADOR 1 P ANCON	A.VOLCADOR 2 P ANCON
Desviación Estándar	97,1102	102,249
Varianza	9430,38	10454,9
Grados de Libertad.	1068	1099

Fuente: Investigadores. (2009).

Razón de Varianzas= 0,902009

Intervalos de confianza del 95,0%

- Desviación Estándar de A.VOLCADOR 1 P ANCON: [93,1611, 101,411]
- Desviación Estándar de A.VOLCADOR 2 P ANCON: [98,1476, 106,711]

Razones de Varianzas: [0,800723, 1,01621]

Prueba-F para comparar Desviaciones Estándar

Hipótesis Nula: $\sigma_1 = \sigma_2$

Hipótesis Alt.: $\sigma_1 \neq \sigma_2$

$F = 0,902009$ valor-P = 0,0899426

No se rechaza la hipótesis nula para $\alpha = 0,05$.

El StatAdvisor.

Esta opción ejecuta una prueba-F para comparar las varianzas de las dos muestras. También construye intervalos ó cotas de confianza para cada desviación estándar y para la razón de varianzas. De particular interés es el intervalo de confianza para la razón de varianzas, el cual se extiende desde 0,800723 hasta 1,01621. Puesto que el intervalo contiene el valor de 1, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las desviaciones estándar de las dos muestras con un nivel de confianza del 95,0%.

También puede ejecutarse una prueba-F para evaluar una hipótesis específica acerca de las desviaciones estándar de las poblaciones de las cuales provienen las dos muestras. En este caso, la prueba se ha construido para determinar si el cociente de las desviaciones estándar es igual a 1,0 versus la hipótesis alternativa de que el cociente no es igual a 1,0. Puesto que el valor-P calculado no es menor que 0,05, no se puede rechazar la hipótesis nula.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov

Estadístico DN estimado = 0,0346271

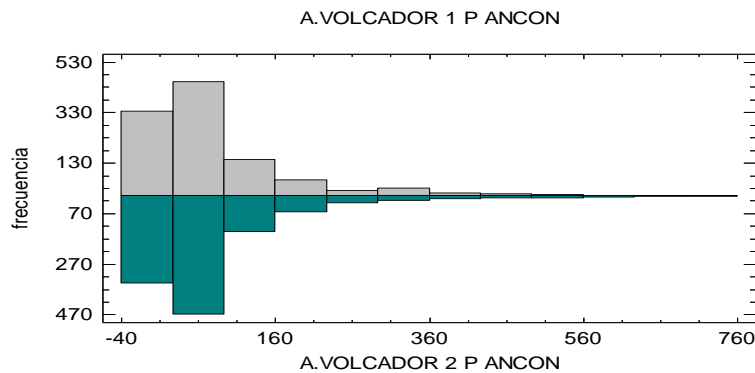
Estadístico K-S bilateral para muestras grandes = 0,806253

Valor P aproximado = 0,550522

El StatAdvisor.

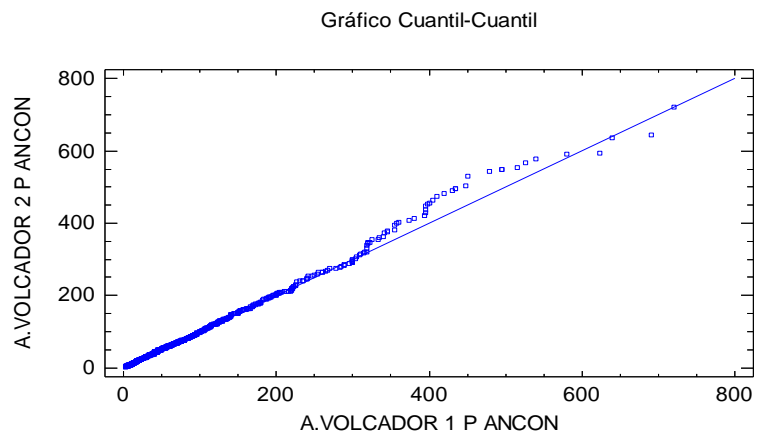
Esta opción ejecuta una prueba de Kolmogorov-Smirnov para comparar las distribuciones de las dos muestras. Esta prueba se realiza calculando la distancia máxima entre las distribuciones acumuladas de las dos muestras. En este caso, la distancia máxima es 0,0346271, que puede verse gráficamente seleccionando Gráfico de Cuantiles de la lista de Opciones Gráficas. De particular interés es el valor-P aproximado para la prueba. Debido a que el valor-P es mayor ó igual que 0,05, no hay diferencia estadísticamente significativa entre las dos distribuciones con un 95,0%.

Figura 31. Comparativo.



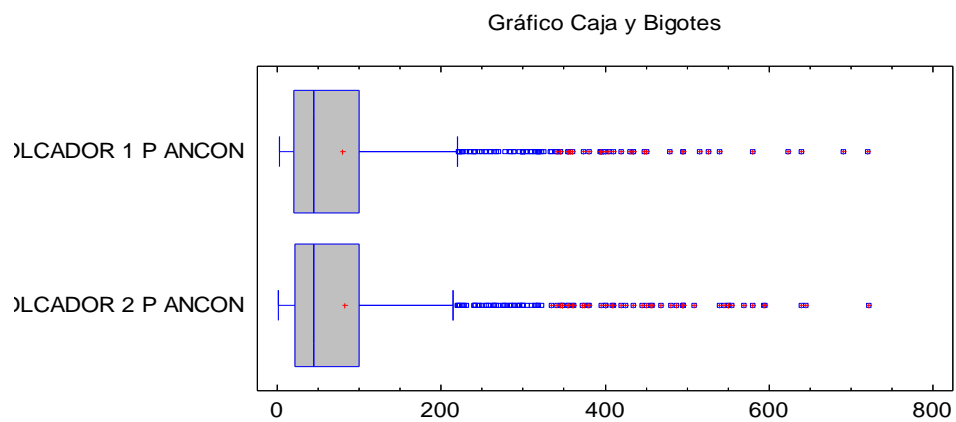
Fuente: Investigadores. (2009).

Figura 32. Gráfico Cuantil-Cuantil.



Fuente: Investigadores. (2009).

Figura 33. Gráfico Caja y Bigotes.



Fuente: Investigadores. (2009).

6.6 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS DATOS.

En esta fase del proyecto se seleccionaron los parámetros estadísticos (distribuciones estadísticas, media y desviaciones estándar) con los que se trabajaron, dado que el software ARENA 12.0 requiere esta información para la puesta en marcha del modelo; el análisis estadístico se realizó utilizando el aplicativo INPUT ANALYZER de ARENA 12.0. Los resultados arrojados durante este procedimiento se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21. Consolidado de los datos analizados en el INPUT ANALYZER.

PROCESO.	EXPRESIÓN.
Tiempos entre arribos carga Carbón día.	-0.001 + WEIB(2.02, 0.53)
Tiempos entre arribos carga Carbón noche.	-0.001 + 91 * BETA(0.321, 10.4)
Tiempos entre arribos Otra carga día.	-0.001 + WEIB(0.221, 0.257)
Tiempos entre arribos Otra carga noche.	-0.001 + WEIB(3.94, 0.616)
Tiempos de atención en Portería.	1.14 + 0.61 * BETA(1.35, 1.33)
Tiempos de descarpe para Patio 5.	2 + GAMM(1.34, 1.8)
Tiempos de descarpe para Patio Ancón.	1.51 + 3.48 * BETA(1.88, 1.73)
Tiempos de maniobra Patio 5.	50 * BETA(1.36, 2.51)
Tiempos de descargue Volcador 1 Patio 5.	-0.001 + LOGN(1.62, 2.69)
Tiempos de descargue Volcador 2 Patio 5.	-0.001 + LOGN(1.62, 2.66)
Tiempos de descargue Volcador 1 Patio Ancón.	LOGN(1.5, 2.43)
Tiempos de descargue Volcador 2 Patio Ancón.	-0.001 + LOGN(1.57, 2.64)
Tiempos de limpieza en compuertas	1.08 + 1.33 * BETA(1.91, 1.77)
Tiempos de lavado	LOGN(0.506, 0.25)
Tiempos entre fallas Mecánicas Vol. 1 Patio 5	-0.001 + WEIB(6.81, 0.18)
Tiempos entre fallas Eléctricas Vol. 1 Patio 5	UNIF(-0.001, 1.46e+003)
Tiempos entre fallas Control Vol. 1 Patio 5	TRIA(24, 192, 3.14e+003)
Tiempos entre fallas Mecánicas Vol. 2 Patio 5	-0.001 + EXPO(357)
Tiempos entre fallas Eléctricas Vol. 2 Patio 5	-0.001 + 1.58e+003 * BETA(0.164, 0.142)
Tiempos entre fallas Control Vol. 2 Patio 5	24 + EXPO(1.03e+003)
Tiempos entre fallas Mecánicas Vol. 1 Patio Ancón	24 + EXPO(159)
Tiempos entre fallas Control Vol. 1 Patio Ancón	-0.001 + GAMM(738, 0.277)
Tiempos entre fallas Mecánicas Vol. 2 Patio Ancón	-0.001 + WEIB(12.8, 0.265)
Tiempos entre fallas Control Vol. 2 Patio Ancón	-0.001 + EXPO(50.4)
Tiempos duración fallas Mecánicas Vol. 1 Patio 5	5 + WEIB(59.5, 0.562)

Tiempos duración fallas Eléctricas Vol. 1 Patio 5	$6.5 + 99 * \text{BETA}(0.0922, 0.273)$
Tiempos duración fallas Control Vol. 1 Patio 5	$12.5 + 55 * \text{BETA}(0.217, 0.31)$
Tiempos duración fallas Mecánicas Vol. 2 Patio 5	$5 + \text{EXPO}(45.8)$
Tiempos duración fallas Eléctricas Vol. 2 Patio 5	$18 + \text{EXPO}(97.8)$
Tiempos duración fallas Control Vol. 2 Patio 5	$15.5 + 20 * \text{BETA}(0.192, 0.26)$
Tiempos duración fallas Mecánicas Vol. 1 Patio Ancón	$8 + \text{EXPO}(118)$
Tiempos duración fallas Control Vol. 1 Patio Ancón	$11 + \text{WEIB}(19.1, 0.389)$
Tiempos duración fallas Mecánicas Vol. 2 Patio Ancón	$6 + \text{EXPO}(122)$
Tiempos duración fallas Control Vol. 2 Patio Ancón	$10 + \text{EXPO}(29.4)$

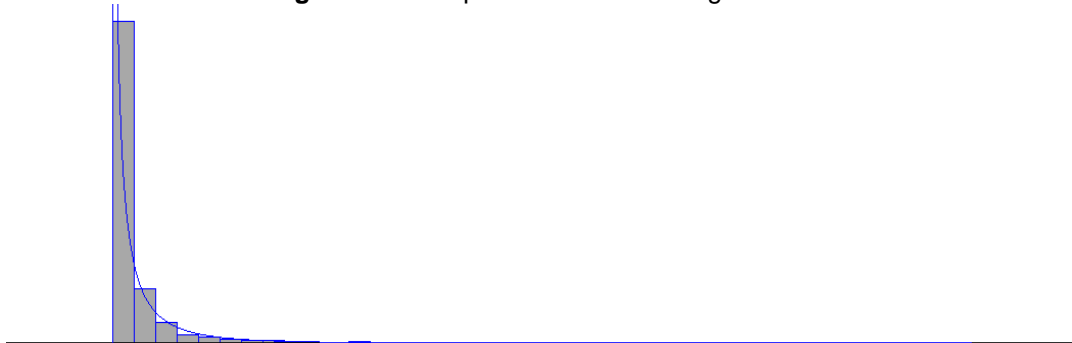
Fuente: Investigadores (2009).

Esta información se presenta a continuación de forma más detallada, mostrando el comportamiento de los datos en gráficas que arrojó el análisis de cada grupo de datos analizados en el INPUT ANALYZER:

6.6.1 Tiempos entre arribos.

Con la cantidad necesaria de datos establecida y seleccionada se procedió a ingresar los datos al INPUT ANALYZER donde se obtuvo que estos se comportaban de acuerdo a los parámetros mostrados en las siguientes gráficas y tablas:

Figura 34. Tiempos entre arribos carga de Carbón día.



Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 22. Información INPUT ANALYZER 1

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Weibull
Expression:	-0.001 + WEIB(2.02, 0.53)
Square Error:	0.000260
Chi Square Test	
Number of intervals	= 10
Degrees of freedom	= 7
Test Statistic	= 10.7
Corresponding p-value	= 0.168
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.358
Corresponding p-value	< 0.01
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 2069
Min Data Value	= 0
Max Data Value	= 147
Sample Mean	= 3.72
Sample Std Dev	= 7.58
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= -0.001 to 147
Number of Intervals	= 40

Fuente: Investigadores (2009)

Figura 35. Tiempos entre arribos carga de Carbón Noche.



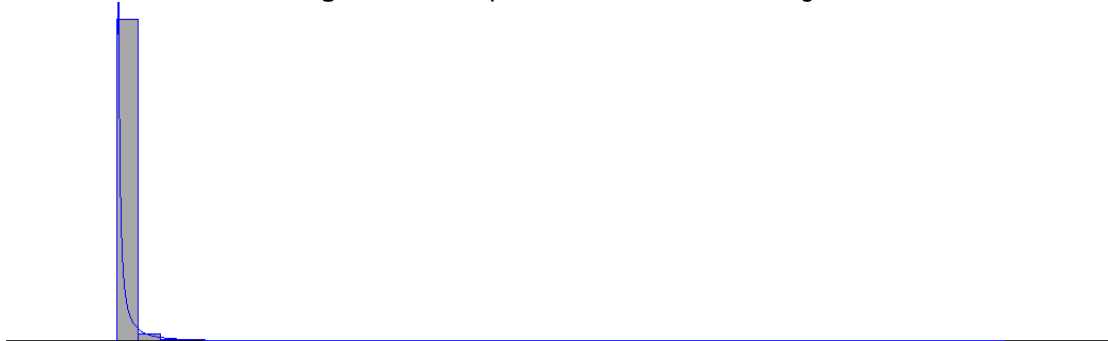
Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 23. Información INPUT ANALYZER 2

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Beta
Expression:	-0.001 + 91 * BETA(0.321, 10.4)
Square Error:	0.009097
Chi Square Test	
Number of intervals	= 11
Degrees of freedom	= 8
Test Statistic	= 77.1
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.38
Corresponding p-value	< 0.01
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 2635
Min Data Value	= 0
Max Data Value	= 91
Sample Mean	= 2.73
Sample Std Dev	= 4.54
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= -0.001 to 91
Number of Intervals	= 40

Fuente: Investigadores (2009)

Figura 36. Tiempos entre arribos otras cargas día.



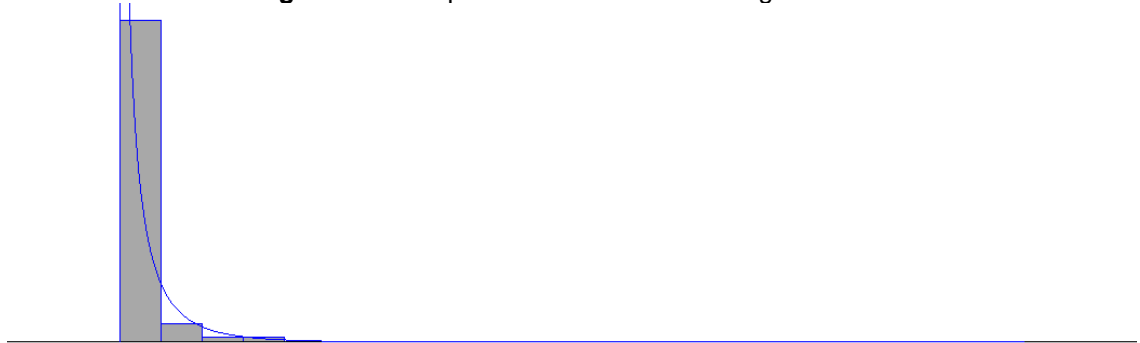
Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 24. Información INPUT ANALYZER 3

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Weibull
Expression:	-0.001 + WEIB(0.221, 0.257)
Square Error:	0.000042
Chi Square Test	
Number of intervals	= 6
Degrees of freedom	= 3
Test Statistic	= 9.37
Corresponding p-value	= 0.0248
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.542
Corresponding p-value	< 0.01
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 2487
Min Data Value	= 0
Max Data Value	= 761
Sample Mean	= 5.45
Sample Std Dev	= 28.2
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= -0.001 to 761
Number of Intervals	= 40

Fuente: Investigadores (2009).

Figura 37. Tiempos entre arribos otras cargas noche.



Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 25. Información INPUT ANALYZER 4.

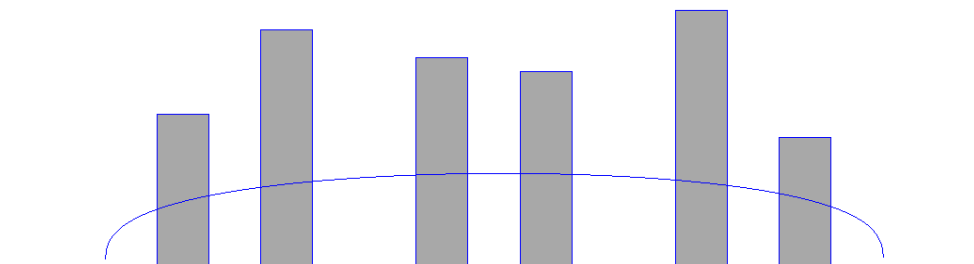
DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Weibull
Expression:	-0.001 + WEIB(3.94, 0.616)
Square Error:	0.003397
Chi Square Test	
Number of intervals	= 3
Degrees of freedom	= 0
Test Statistic	= 11.7
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.26
Corresponding p-value	< 0.01
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 490
Min Data Value	= 0
Max Data Value	= 269
Sample Mean	= 5.89
Sample Std Dev	= 16.5
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= -0.001 to 269
Number of Intervals	= 22

Fuente: Investigadores (2009).

6.6.2 Tiempos de entrega de remesa en portería.

Al realizar el análisis de los datos de los tiempos de atención en portería en la herramienta INPUT ANALYZER de ARENA 12.0 se pudo determinar el comportamiento de los datos tal y como se muestra a continuación:

Figura 38. Tiempos de atención en Portería.



Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 26. Información INPUT ANALYZER 5.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Beta
Expression:	$1.14 + 0.61 * \text{BETA}(1.35, 1.33)$
Square Error:	0.104784
Chi Square Test	
Number of intervals	= 13
Degrees of freedom	= 10
Test Statistic	= 338
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.106
Corresponding p-value	< 0.01
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 248
Min Data Value	= 1.2
Max Data Value	= 1.7
Sample Mean	= 1.45
Sample Std Dev	= 0.159
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 1.14 to 1.75
Number of Intervals	= 15

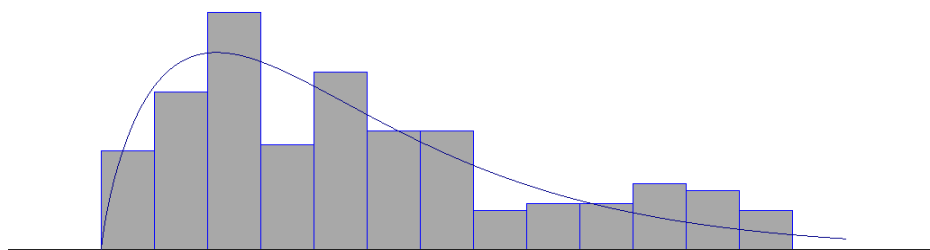
Fuente: Investigadores (2009)

6.6.3 Tiempos de descarpe.

Los datos tomados durante esta operación (199 para Patio 5 y 198 para Patio Ancón) fueron procesados en el INPUT ANALYZER de donde se obtuvo:

6.6.3.1 Patio 5.

Figura 39. Descarpe Patio 5.



Fuente: Investigadores (2009)

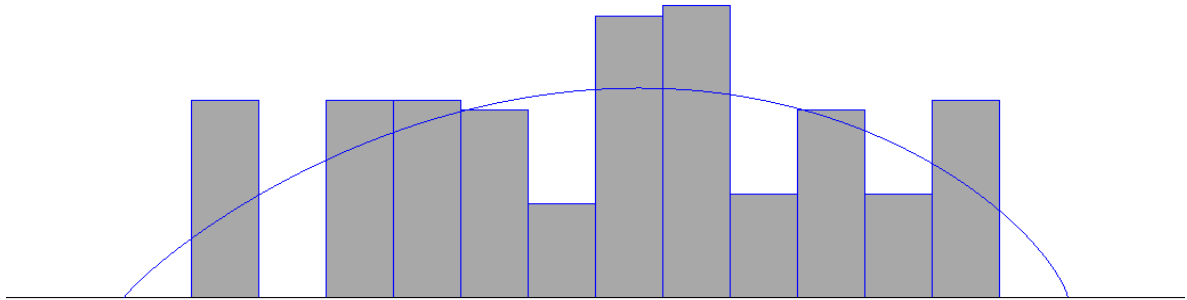
Tabla 27. Información INPUT ANALYZER 6.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Gamma
Expression:	2 + GAMM(1.34, 1.8)
Square Error:	0.007784
Chi Square Test	
Number of intervals	= 10
Degrees of freedom	= 7
Test Statistic	= 38.6
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0753
Corresponding p-value	> 0.15
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 199
Min Data Value	= 2.1
Max Data Value	= 8.3
Sample Mean	= 4.41
Sample Std Dev	= 1.65
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 2 to 8.93
Number of Intervals	= 14

Fuente: Investigadores (2009).

6.6.3.2 Patio Ancón.

Figura 40. Descarpe Patio Ancón.



Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 28. Información INPUT ANALYZER 7.

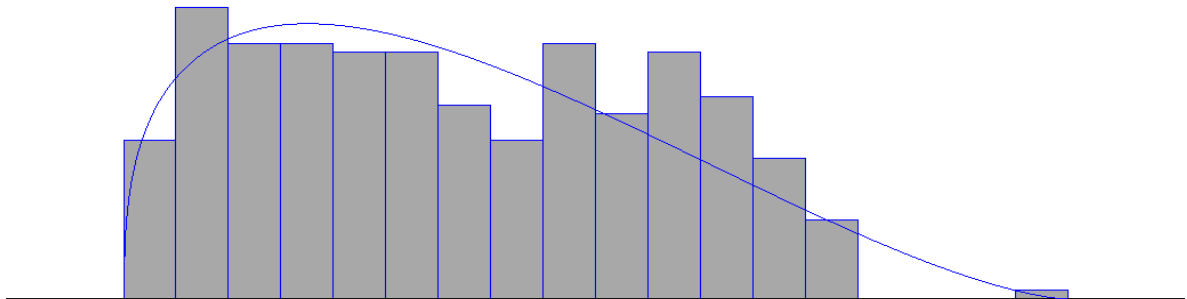
DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Beta
Expression:	$1.51 + 3.48 * \text{BETA}(1.88, 1.73)$
Square Error:	0.018572
Chi Square Test	
Number of intervals	= 12
Degrees of freedom	= 9
Test Statistic	= 43.4
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0686
Corresponding p-value	> 0.15
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 196
Min Data Value	= 1.8
Max Data Value	= 4.7
Sample Mean	= 3.32
Sample Std Dev	= 0.81
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 1.51 to 4.99
Number of Intervals	= 14

Fuente: Investigadores (2009)

6.6.4 Tiempos de Maniobra en Patio 5.

Los datos tomados durante la operación de descarpe de las tractomulas se ingresaron al INPUT ANALYZER de donde se obtuvo la siguiente información:

Figura 41. Tiempos de Maniobra Patio 5.



Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 29. Información INPUT ANALYZER 8.

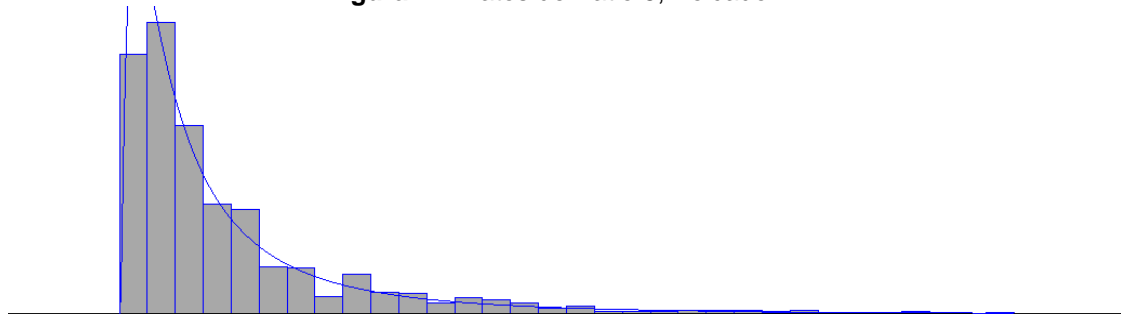
DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Beta
Expression:	50 * BETA(1.36, 2.51)
Square Error:	0.003963
Chi Square Test	
Number of intervals	= 14
Degrees of freedom	= 11
Test Statistic	= 28.3
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.052
Corresponding p-value	> 0.15
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 332
Min Data Value	= 0.02
Max Data Value	= 49.5
Sample Mean	= 17.8
Sample Std Dev	= 10.6
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 0 to 50
Number of Intervals	= 18

Fuente: Investigadores (2009)

6.6.5 Tiempos de descargue de vehículos en volcadores.

Teniendo los datos organizados en la plantilla de Excel procedimos a exportarlos al formato que requiere el INPUT ANALYZER, arrojando los siguientes resultados:

Figura 42. Datos de Patio 5, Volcador 1.



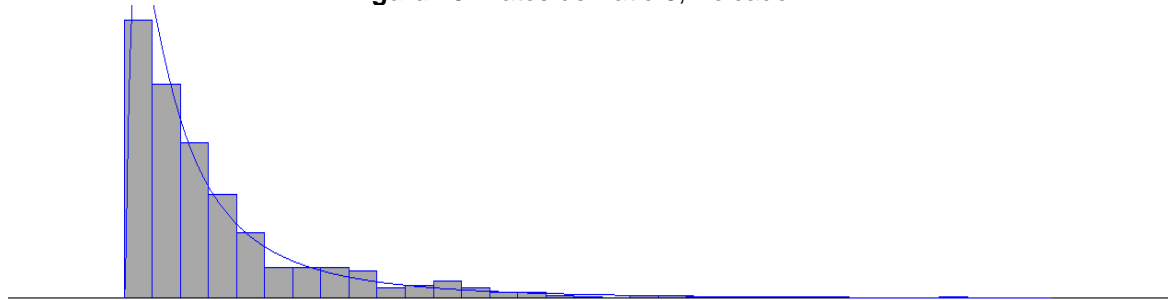
Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 30. Información INPUT ANALYZER 9.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Lognormal
Expression:	-0.001 + LOGN(1.62, 2.69)
Square Error:	0.002524
Chi Square Test	
Number of intervals	= 17
Degrees of freedom	= 14
Test Statistic	= 35.8
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0561
Corresponding p-value	< 0.01
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 1069
Min Data Value	= 0
Max Data Value	= 11.8
Sample Mean	= 1.47
Sample Std Dev	= 1.7
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= -0.001 to 12
Number of Intervals	= 32

Fuente: Investigadores (2009)

Figura 43. Datos de Patio 5, Volcador 2.



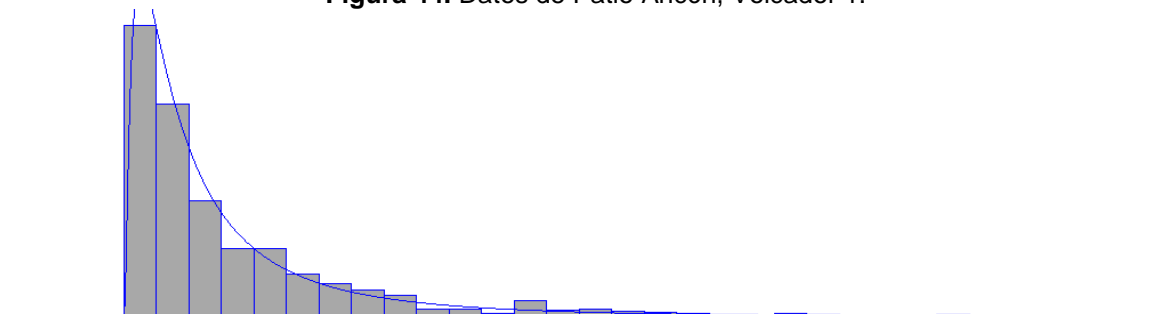
Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 31. Información INPUT ANALYZER 10.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Lognormal
Expression:	-0.001 + LOGN(1.62, 2.66)
Square Error:	0.001093
Chi Square Test	
Number of intervals	= 16
Degrees of freedom	= 13
Test Statistic	= 27.1
Corresponding p-value	= 0.0128
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0541
Corresponding p-value	< 0.01
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 1100
Min Data Value	= 0
Max Data Value	= 13.4
Sample Mean	= 1.48
Sample Std Dev	= 1.75
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= -0.001 to 14
Number of Intervals	= 33

Fuente: Investigadores (2009)

Figura 44. Datos de Patio Ancón, Volcador 1.



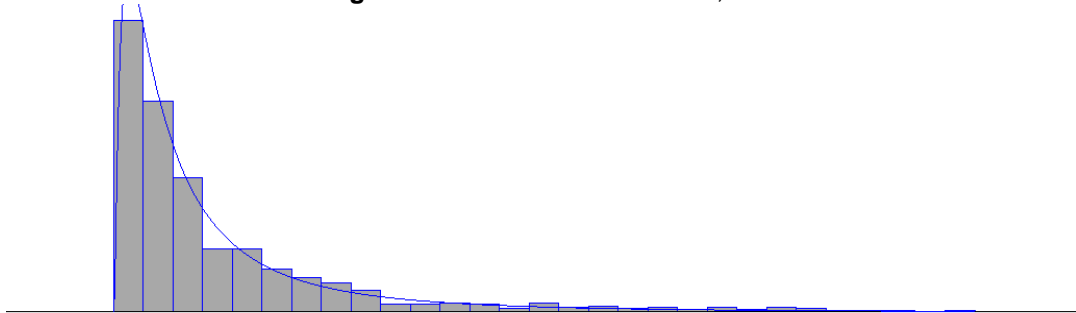
Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 32. Información INPUT ANALYZER 11.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Lognormal
Expression:	LOGN(1.5, 2.43)
Square Error:	0.001404
Chi Square Test	
Number of intervals	= 14
Degrees of freedom	= 11
Test Statistic	= 25.8
Corresponding p-value	= 0.00743
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0419
Corresponding p-value	= 0.102
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 843
Min Data Value	= 0.1
Max Data Value	= 12
Sample Mean	= 1.43
Sample Std Dev	= 1.72
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 0 to 12
Number of Intervals	= 29

Fuente: Investigadores (2009)

Figura 45. Datos de Patio Ancón, Volcador 2.



Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 33. Información INPUT ANALYZER 12.

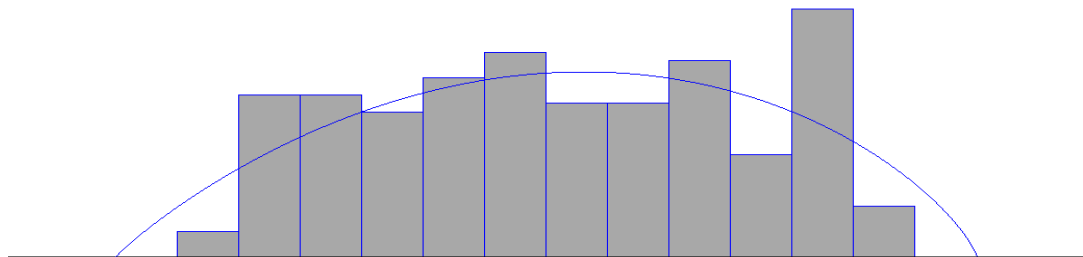
DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Lognormal
Expression:	$-0.001 + \text{LOGN}(1.57, 2.64)$
Square Error:	0.001025
Chi Square Test	
Number of intervals	= 14
Degrees of freedom	= 11
Test Statistic	= 19.7
Corresponding p-value	= 0.0499
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0445
Corresponding p-value	= 0.0654
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 868
Min Data Value	= 0
Max Data Value	= 12
Sample Mean	= 1.47
Sample Std Dev	= 1.83
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= -0.001 to 12
Number of Intervals	= 29

Fuente: Investigadores (2009)

6.6.6 Tiempos de limpieza de compuertas.

Al ingresar los datos de la operación de limpieza compuertas al ANALIZADOR DE DATOS DE ENTRADA (*INPUT ANALYZER*) se obtuvo la siguiente información:

Figura 46. Tiempos de limpieza de compuertas.



Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 34. Información INPUT ANALYZER 13.

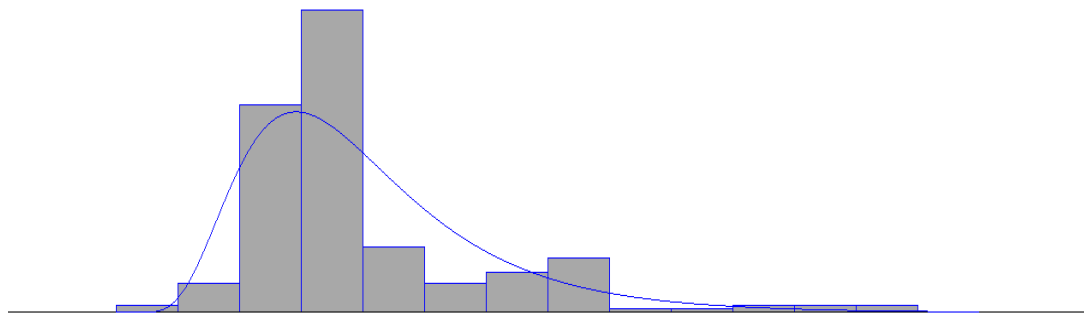
DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Beta
Expression:	$1.08 + 1.33 * \text{BETA}(1.91, 1.77)$
Square Error:	0.009451
Chi Square Test	
Number of intervals	= 12
Degrees of freedom	= 9
Test Statistic	= 35.6
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0894
Corresponding p-value	= 0.0703
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 209
Min Data Value	= 1.2
Max Data Value	= 2.3
Sample Mean	= 1.77
Sample Std Dev	= 0.307
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 1.08 to 2.41
Number of Intervals	= 14

Fuente: Investigadores (2009)

6.6.7 Tiempos de Lavado.

Los datos de la operación de lavado que fueron ingresados en el *INPUT ANALYZER* arrojaron la siguiente información:

Figura 47. Tiempos de lavado.



Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 35. Información INPUT ANALYZER 14.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Lognormal
Expression:	LOGN(0.506, 0.25)
Square Error:	0.042051
Chi Square Test	
Number of intervals	= 7
Degrees of freedom	= 4
Test Statistic	= 50.5
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.141
Corresponding p-value	< 0.01
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 210
Min Data Value	= 0.1
Max Data Value	= 1.6
Sample Mean	= 0.508
Sample Std Dev	= 0.267
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 0 to 1.75
Number of Intervals	= 14

Fuente: Investigadores (2009)

6.6.8 Tiempos entre fallas (en minutos).

Una falla es un evento aleatorio que ocurre en el sistema ocasionando una suspensión de las operaciones, las fallas para el Sistema de Operaciones de CARBOSAN LTDA., pueden ser de tres tipos:

- Mecánicas.
- Eléctricas.
- De control.

Dentro de las mecánicas encontramos: daños en las unidades hidráulicas, fallas en bombas de los sistemas de aspersión, fallas en poleas, averías de mangueras del backstop, etc. Estas fallas serán consideradas en el modelo debido a su frecuencia de ocurrencia.

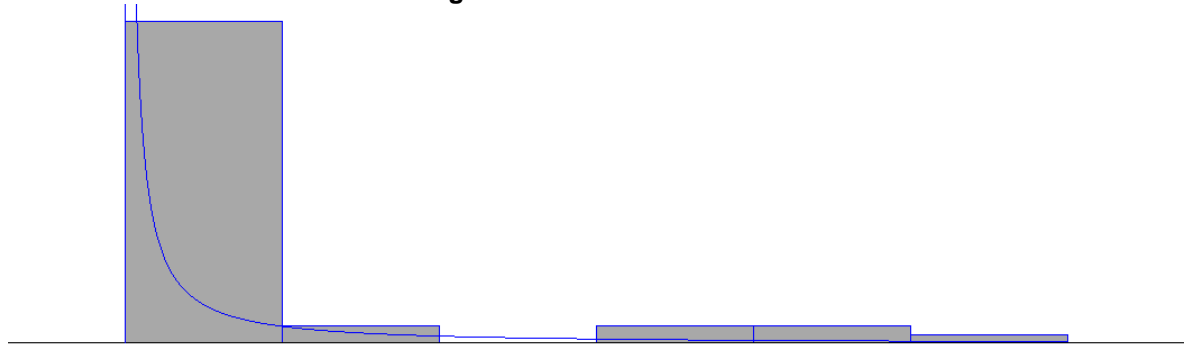
Dentro de las eléctricas encontramos: Fallas de tarjetas electrónicas, fallas de componentes eléctricos (Breaker, totalizador MCC2), fallas en plantas de emergencia, disparos por sobrecargas en el motor, falsos contactos, fallas de arranque de apilador, entre otras.

Debido a que las fallas eléctricas en Patio Ancón no ocurren con mucha frecuencia y en muchos casos no ocurren se ha decidido despreciarlas o no tenerlas en cuenta para ser incluidas en la simulación.

Las fallas de control son: averías en sensores, falla microswiche de las tapas de las tolvas, errores en los programas de básculas, problemas de arranques del sistema, obstrucción de bandas por daños en sensores, señales que no llegan a los componentes del sistema, etc., las cuales serán incluidas en la simulación dada la frecuencia de las mismas.

6.6.8.1 Volcador 1 Patio 5.

Figura 48. Fallas Mecánicas.



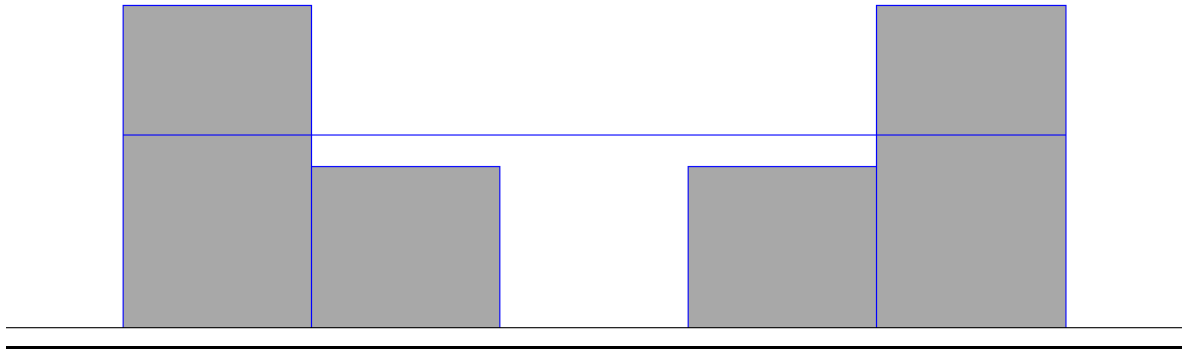
Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 36. Información INPUT ANALYZER 15.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Weibull
Expression:	-0.001 + WEIB(6.81, 0.18)
Square Error:	0.005859
Chi Square Test	
Number of intervals	= 1
Degrees of freedom	= -2
Test Statistic	= 0.219
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.192
Corresponding p-value	= 0.0714
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 44
Min Data Value	= 0
Max Data Value	= 3.17e+003
Sample Mean	= 323
Sample Std Dev	= 753
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= -0.001 to 3.17e+003
Number of Intervals	= 6

Fuente: Investigadores (2009)

Figura 49. Fallas Eléctricas.



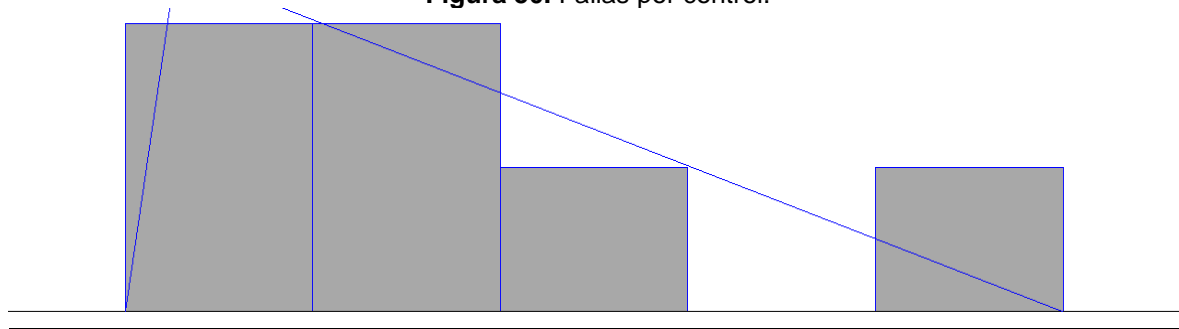
Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 37. Información INPUT ANALYZER 16.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Uniform
Expression:	UNIF(-0.001, 1.46e+003)
Square Error:	0.077778
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.317
Corresponding p-value	> 0.15
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 6
Min Data Value	= 0
Max Data Value	= 1.46e+003
Sample Mean	= 684
Sample Std Dev	= 667
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= -0.001 to 1.46e+003
Number of Intervals	= 5

Fuente: Investigadores (2009)

Figura 50. Fallas por control.



Fuente: Investigadores (2009)

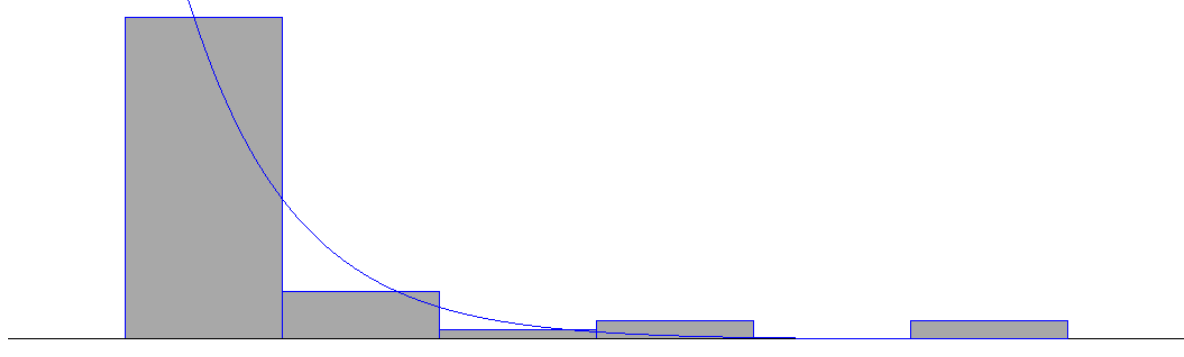
Tabla 38. Información INPUT ANALYZER 17.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Triangular
Expression:	TRIA(24, 192, 3.14e+003)
Square Error:	0.035052
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.329
Corresponding p-value	> 0.15
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 6
Min Data Value	= 24
Max Data Value	= 3.14e+003
Sample Mean	= 1.12e+003
Sample Std Dev	= 1.18e+003
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 24 to 3.14e+003
Number of Intervals	= 5

Fuente: Investigadores (2009)

6.6.8.2 Volcador 2 Patio 5.

Figura 51. Fallas Mecánicas.



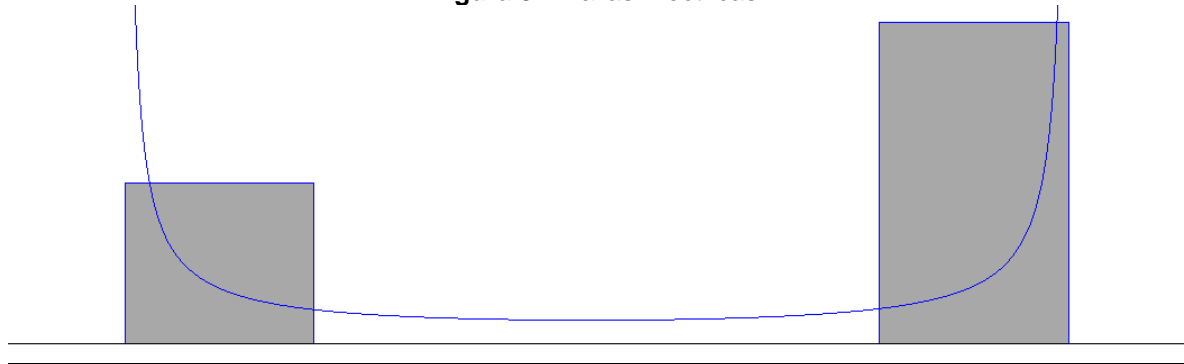
Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 39. Información INPUT ANALYZER 18.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Exponential
Expression:	-0.001 + EXPO(357)
Square Error:	0.007549
Chi Square Test	
Number of intervals	= 2
Degrees of freedom	= 0
Test Statistic	= 0.975
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.556
Corresponding p-value	< 0.01
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 44
Min Data Value	= 0
Max Data Value	= 3.17e+003
Sample Mean	= 357
Sample Std Dev	= 724
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= -0.001 to 3.17e+003
Number of Intervals	= 6

Fuente: Investigadores (2009)

Figura 52. Fallas Eléctricas.



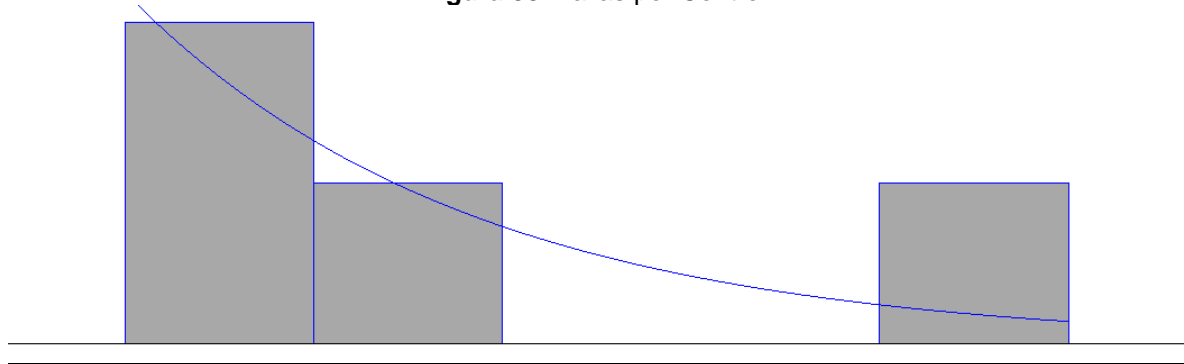
Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 40. Información INPUT ANALYZER 19.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Beta
Expression:	$-0.001 + 1.58e+003 * \text{BETA}(0.164, 0.142)$
Square Error:	0.230339
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.218
Corresponding p-value	> 0.15
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 6
Min Data Value	= 0
Max Data Value	= $1.58e+003$
Sample Mean	= $1e+003$
Sample Std Dev	= 769
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= -0.001 to $1.58e+003$
Number of Intervals	= 5

Fuente: Investigadores (2009)

Figura 53. Fallas por Control.



Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 41. Información INPUT ANALYZER 20.

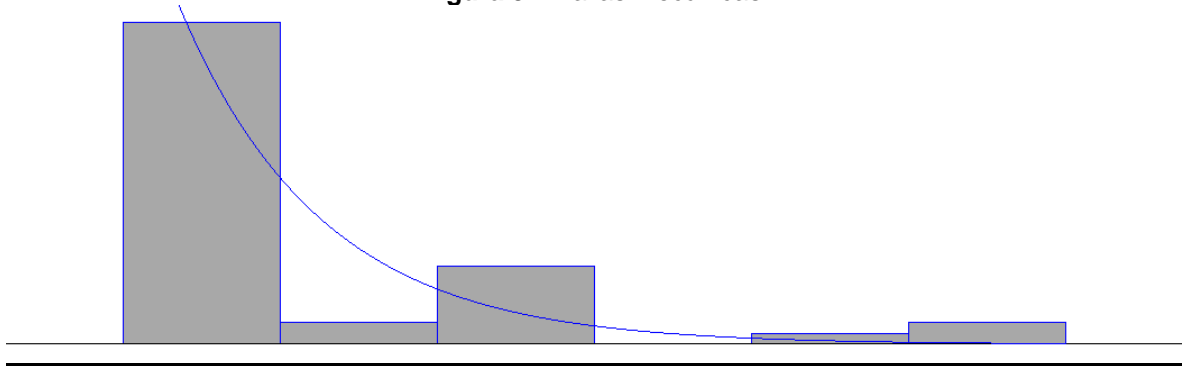
DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Exponential
Expression:	$24 + \text{EXPO}(1.03\text{e}+003)$
Square Error:	0.073878
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.25
Corresponding p-value	> 0.15
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 4
Min Data Value	= 24
Max Data Value	= $2.83\text{e}+003$
Sample Mean	= $1.05\text{e}+003$
Sample Std Dev	= $1.23\text{e}+003$
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 24 to $2.83\text{e}+003$
Number of Intervals	= 5

Fuente: Investigadores (2009)

6.6.8.3

Volcador 1 Patio Ancon.

Figura 54. Fallas Mecánicas.



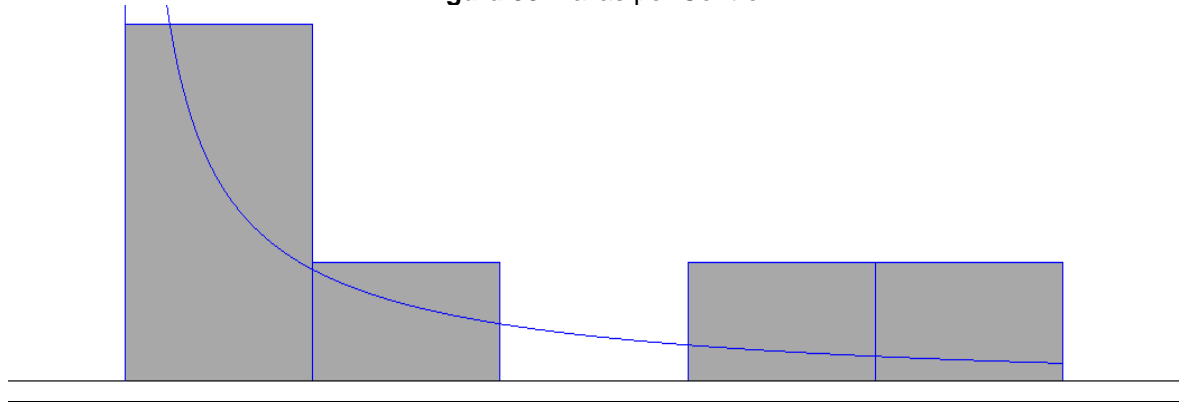
Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 42. Información INPUT ANALYZER 21.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Exponential
Expression:	24 + EXPO(159)
Square Error:	0.043767
Chi Square Test	
Number of intervals	= 2
Degrees of freedom	= 0
Test Statistic	= 5.78
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.519
Corresponding p-value	< 0.01
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 41
Min Data Value	= 24
Max Data Value	= 1.08e+003
Sample Mean	= 183
Sample Std Dev	= 279
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 24 to 1.08e+003
Number of Intervals	= 6

Fuente: Investigadores (2009)

Figura 55. Fallas por Control.



Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 43. Información INPUT ANALYZER 22.

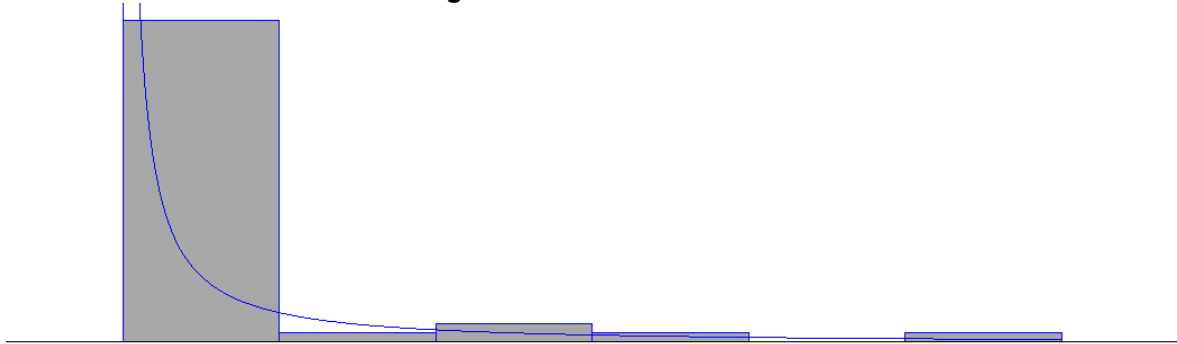
DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Gamma
Expression:	-0.001 + GAMM(738, 0.277)
Square Error:	0.048355
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 5.91
Corresponding p-value	< 0.01
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 6
Min Data Value	= 0
Max Data Value	= 600
Sample Mean	= 204
Sample Std Dev	= 258
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= -0.001 to 600
Number of Intervals	= 5

Fuente: Investigadores (2009)

6.6.8.4

Volcador 2 Patio Ancón.

Figura 56. Fallas Mecánicas.



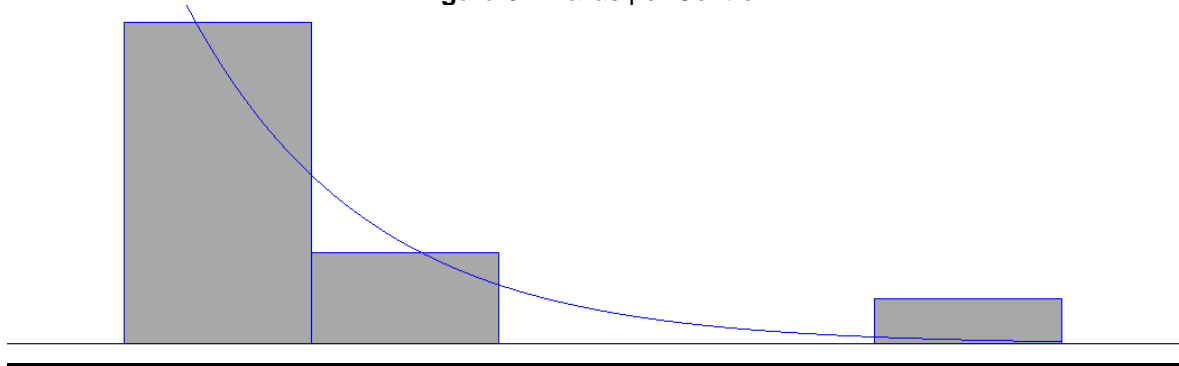
Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 44. Información INPUT ANALYZER 23.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Weibull
Expression:	-0.001 + WEIB(12.8, 0.265)
Square Error:	0.004020
Chi Square Test	
Number of intervals	= 1
Degrees of freedom	= -2
Test Statistic	= 0.259
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.343
Corresponding p-value	< 0.01
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 40
Min Data Value	= 0
Max Data Value	= 648
Sample Mean	= 62.4
Sample Std Dev	= 125
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= -0.001 to 648
Number of Intervals	= 6

Fuente: Investigadores (2009)

Figura 57. Fallas por Control.



Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 45. Información INPUT ANALYZER 24.

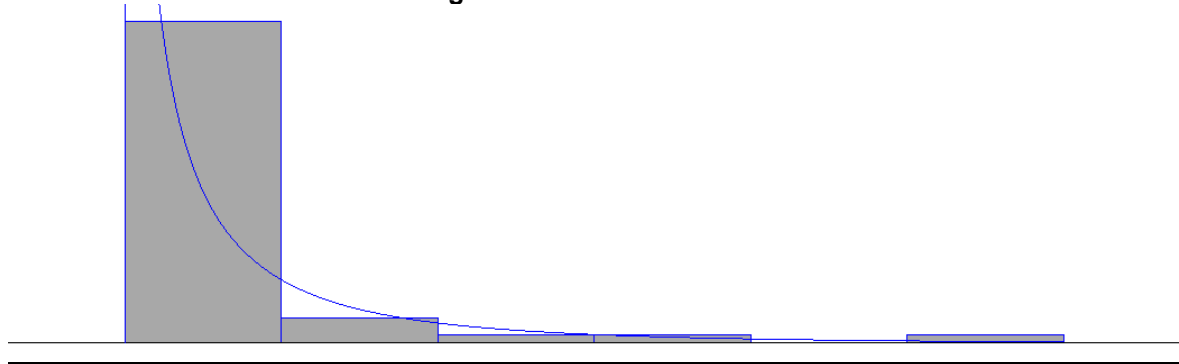
DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Exponential
Expression:	-0.001 + EXPO(50.4)
Square Error:	0.018645
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.221
Corresponding p-value	> 0.15
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 10
Min Data Value	= 0
Max Data Value	= 264
Sample Mean	= 50.4
Sample Std Dev	= 82.7
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= -0.001 to 264
Number of Intervals	= 5

Fuente: Investigadores (2009)

6.6.9 Duración de las fallas.

6.6.9.1 Volcador 1 Patio 5.

Figura 58. Fallas Mecánicas.



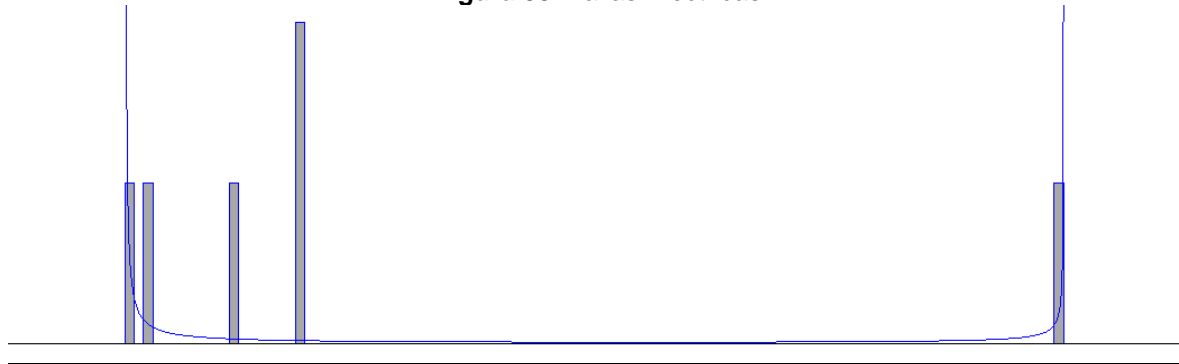
Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 46. Información INPUT ANALYZER 25.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Weibull
Expression:	5 + WEIB(59.5, 0.562)
Square Error:	0.002769
Chi Square Test	
Number of intervals	= 2
Degrees of freedom	= -1
Test Statistic	= 0.882
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0926
Corresponding p-value	> 0.15
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 44
Min Data Value	= 5
Max Data Value	= 980
Sample Mean	= 102
Sample Std Dev	= 182
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 5 to 980
Number of Intervals	= 6

Fuente: Investigadores (2009).

Figura 59. Fallas Eléctricas



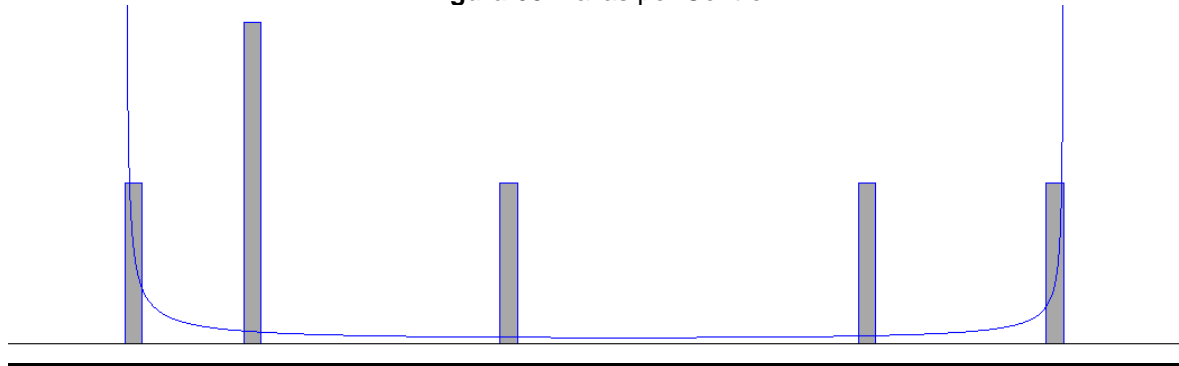
Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 47. Información INPUT ANALYZER 26.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Beta
Expression:	$6.5 + 99 * \text{BETA}(0.0922, 0.273)$
Square Error:	0.171950
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 6
Min Data Value	= 7
Max Data Value	= 105
Sample Mean	= 31.5
Sample Std Dev	= 36.8
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 6.5 to 106
Number of Intervals	= 99

Fuente: Investigadores (2009)

Figura 60. Fallas por Control



Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 48. Información INPUT ANALYZER 27.

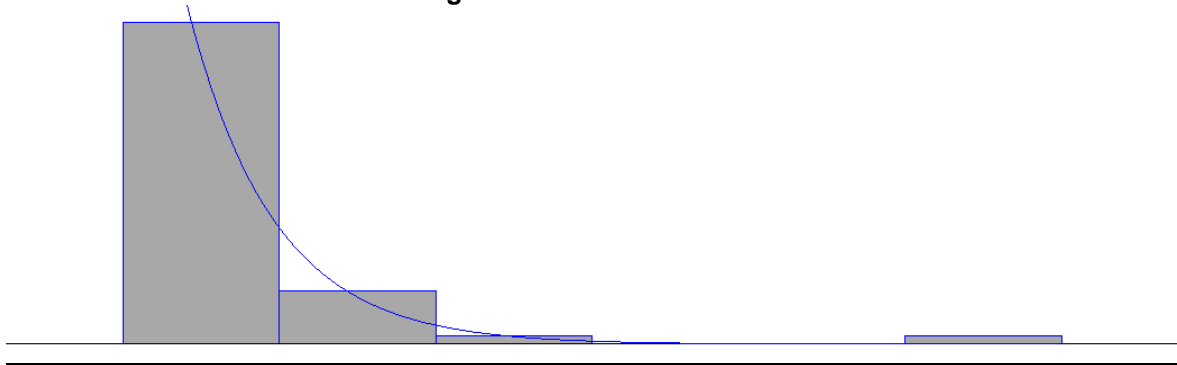
DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Beta
Expression:	$12.5 + 55 * \text{BETA}(0.217, 0.31)$
Square Error:	0.166285
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 6
Min Data Value	= 13
Max Data Value	= 67
Sample Mean	= 35.2
Sample Std Dev	= 21.9
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 12.5 to 67.5
Number of Intervals	= 55

Fuente: Investigadores (2009)

6.6.9.2

Volcador 2 Patio 5.

Figura 61. Fallas Mecánicas.



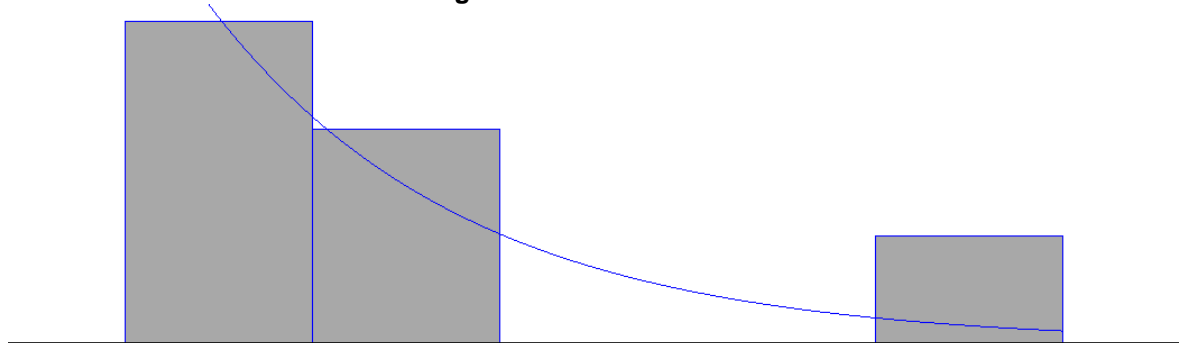
Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 49. Información INPUT ANALYZER 28.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Exponential
Expression:	5 + EXPO(45.8)
Square Error:	0.000870
Chi Square Test	
Number of intervals	= 2
Degrees of freedom	= 0
Test Statistic	= 0.111
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.173
Corresponding p-value	= 0.129
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 44
Min Data Value	= 5
Max Data Value	= 503
Sample Mean	= 50.8
Sample Std Dev	= 80.9
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 5 to 503
Number of Intervals	= 6

Fuente: Investigadores (2009)

Figura 62. Fallas Eléctricas.



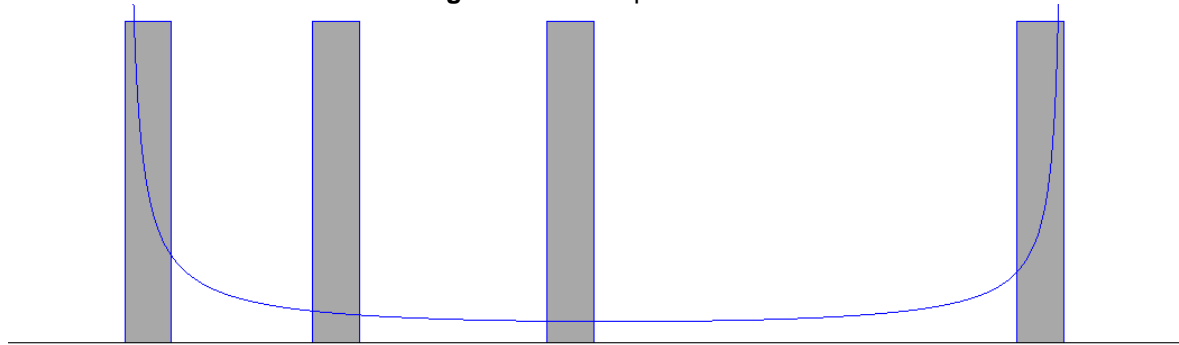
Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 50. Información INPUT ANALYZER 29.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Exponential
Expression:	18 + EXPO(97.8)
Square Error:	0.044410
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.323
Corresponding p-value	> 0.15
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 6
Min Data Value	= 18
Max Data Value	= 375
Sample Mean	= 116
Sample Std Dev	= 135
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 18 to 375
Number of Intervals	= 5

Fuente: Investigadores (2009)

Figura 63. Fallas por Control.



Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 51. Información INPUT ANALYZER 30.

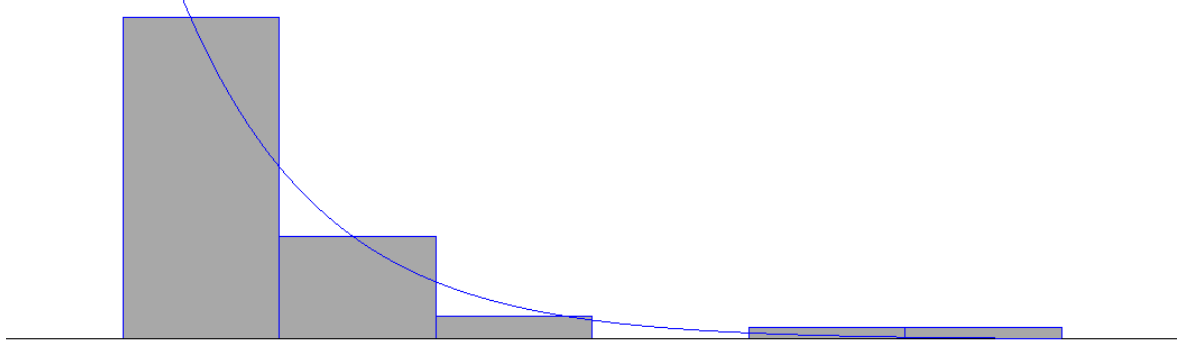
DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Beta
Expression:	$15.5 + 20 * \text{BETA}(0.192, 0.26)$
Square Error:	0.126711
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 4
Min Data Value	= 16
Max Data Value	= 35
Sample Mean	= 24
Sample Std Dev	= 8.21
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 15.5 to 35.5
Number of Intervals	= 20

Fuente: Investigadores (2009)

6.6.9.3

Volcador 1 Patio Ancón.

Figura 64. Fallas Mecánicas.



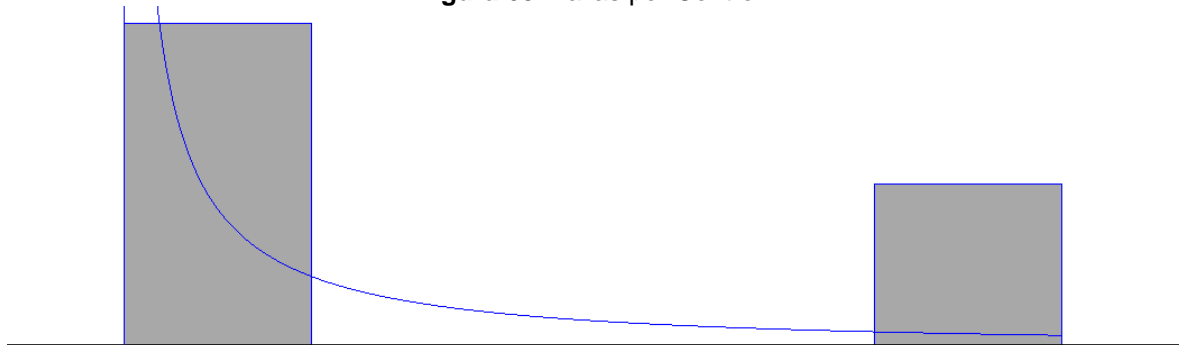
Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 52. Información INPUT ANALYZER 31.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Exponential
Expression:	8 + EXPO(118)
Square Error:	0.002222
Chi Square Test	
Number of intervals	= 2
Degrees of freedom	= 0
Test Statistic	= 0.042
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.207
Corresponding p-value	= 0.0508
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 41
Min Data Value	= 8
Max Data Value	= 790
Sample Mean	= 126
Sample Std Dev	= 158
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 8 to 790
Number of Intervals	= 6

Fuente: Investigadores (2009)

Figura 65. Fallas por Control.



Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 53. Información INPUT ANALYZER 32.

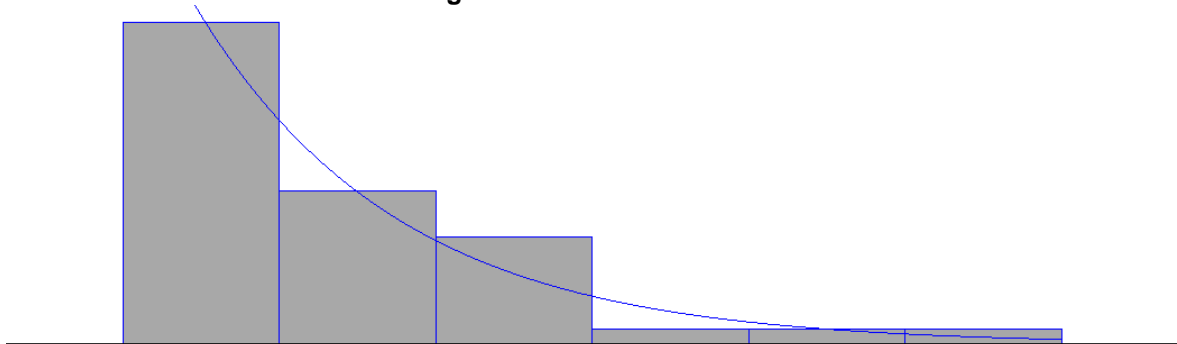
DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Weibull
Expression:	11 + WEIB(19.1, 0.389)
Square Error:	0.108781
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.199
Corresponding p-value	> 0.15
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 6
Min Data Value	= 11
Max Data Value	= 132
Sample Mean	= 54.2
Sample Std Dev	= 58.3
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 11 to 132
Number of Intervals	= 5

Fuente: Investigadores (2009).

6.6.9.4

Volcador 2 Patio Ancon.

Figura 66. Fallas Mecánicas.



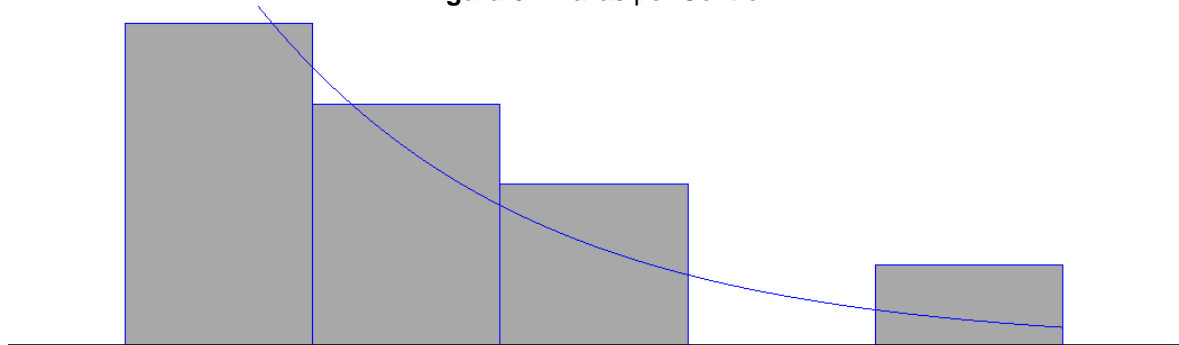
Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 54. Información INPUT ANALYZER 33.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Exponential
Expression:	6 + EXPO(122)
Square Error:	0.004729
Chi Square Test	
Number of intervals	= 3
Degrees of freedom	= 1
Test Statistic	= 0.533
Corresponding p-value	= 0.477
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.135
Corresponding p-value	> 0.15
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 41
Min Data Value	= 6
Max Data Value	= 571
Sample Mean	= 128
Sample Std Dev	= 127
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 6 to 571
Number of Intervals	= 6

Fuente: Investigadores (2009)

Figura 67. Fallas por Control.



Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 55. Información INPUT ANALYZER 34.

DISTRIBUTION SUMMARY	
Distribution:	Exponential
Expression:	10 + EXPO(29.4)
Square Error:	0.026062
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.215
Corresponding p-value	> 0.15
DATA SUMMARY	
Number of Data Points	= 10
Min Data Value	= 10
Max Data Value	= 111
Sample Mean	= 39.4
Sample Std Dev	= 31.8
HISTOGRAM SUMMARY	
Histogram Range	= 10 to 111
Number of Intervals	= 5

Fuente: Investigadores (2009)

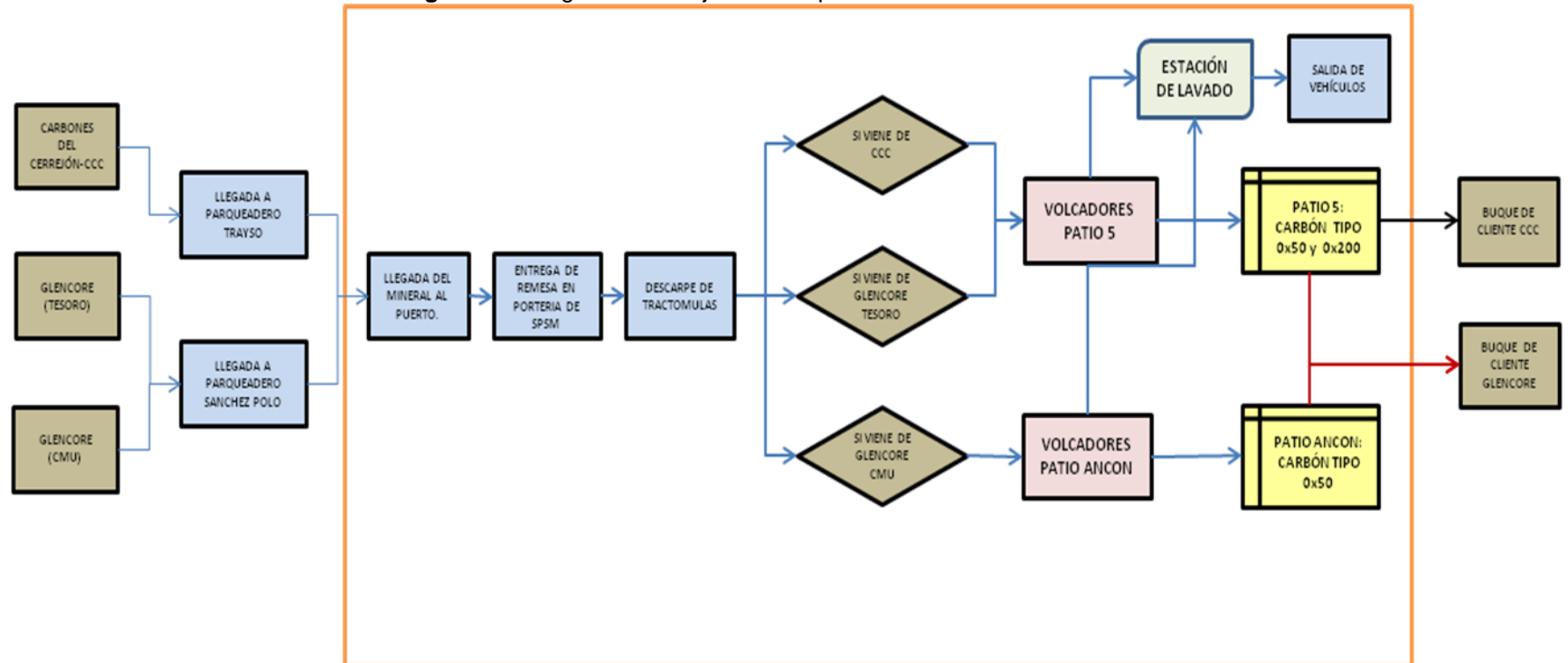
6.7 PLANTEAMIENTO DEL MODELO CONCEPTUAL.

El modelo conceptual está basado en un diagrama de flujo que refleja la secuencia de las actividades que se llevan a cabo durante la operación de descargue de carbón por tractomulas, en éste se presenta de forma detallada cada una de las partes del proceso y las decisiones a las que hay lugar durante el desarrollo del proceso, la intención del modelo conceptual es describir la realidad mediante representaciones gráficas que nos suministrarán información relevante a la hora de implementar el modelo en una computadora, es decir, este modelo sirve de base para la construcción del modelo que será montado en el software de simulación ARENA ya que nos permite entender las interrelaciones existentes entre cada parte del proceso y el flujo a través del mismo.

La conceptualización del modelo se basa en gran medida en la observación de las operaciones y en la revisión de la documentación existente del proceso de descargue de carbón suministrada por la empresa.

El área encerrada en el cuadro naranja indica las operaciones de objeto de estudio del modelo que incluye las actividades de llegada de tractomulas al puerto, entrega de remesa en portería, descarpe de las mulas, descargue de carbón en volcadores, transporte del carbón a los patios de almacenamiento, limpieza y lavado de los vehículos y salida de los vehículos del puerto.

Figura 68. Diagrama de Flujo de las Operaciones de CARBOSAN LTDA.



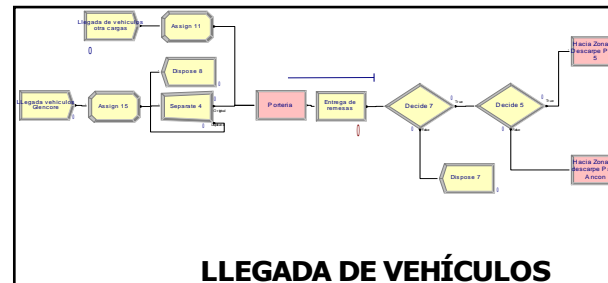
Fuente: Investigadores, (2009).

6.8 PROGRAMACIÓN DEL MODELO COMPUTACIONAL EN ARENA 12.0.

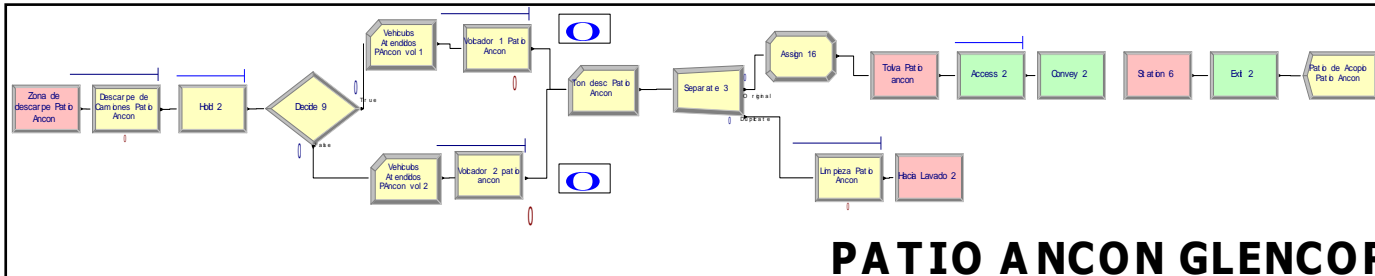
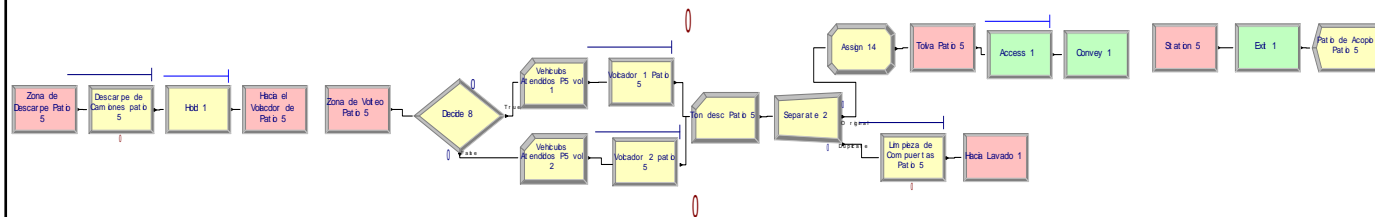
El desarrollo del modelo computacional estuvo fundamentado en la obtención del resultado esperado: un modelo de simulación en computadora que pueda recrear la operación de descargue de carbón lo más ajustado a la realidad. Para ello nos soportamos del manual de ARENA que nos ofrece los parámetros a seguir para la correcta utilización del mismo, los módulos empleados en el modelo se explican de forma detallada en el documento anexo “*Manual de Usuario para la comprensión del modelo*” (Ver anexo 3).

A continuación se presenta el esquema de los modelos simulados (Ver Figura 69).

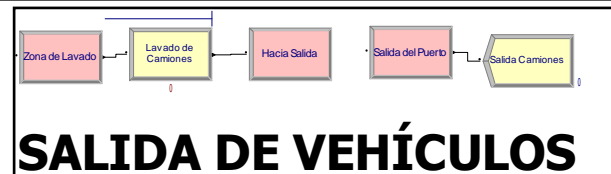
Figura 69. Modelos de Simulación.



PATIO 5 GLENCORE Y CCC



PATIO ANCON GLENCORE



SALIDA DE VEHÍCULOS

Fuente: Investigadores, (2009).

6.9 SIMULACIÓN: CORRIDA DEL MODELO.

Para simular el sistema real lo más ajustado a la realidad fue necesario realizar el montaje de dos modelos independientes, cada uno en escenarios de operación distintos, tal y como se presenta en las actividades de la empresa donde se opera de manera fraccionada en dos turnos de doce horas cada uno (10 horas de operación y 2 horas de mantenimiento) en los que se atienden diferentes clientes bajo diferentes condiciones, por esta razón se decidió que los modelos de simulación tendrían establecidos que las horas por día serían de 12 cada una (Ver anexo 6), ya que los modelos simulan la operación en cada una de las jornadas (día y noche).

Los modelos obtenidos fueron corridos para verificar si la codificación y la utilización de los módulos de ARENA 12.0 eran los adecuados, de la misma manera se pretendía determinar si era correcta la entrada de datos y la utilización de la estructura lógica del programa, durante esta fase se realizó la comparación del modelo conceptual con el modelo computacional para así poder desarrollar un nivel aceptable de confianza de modo que las inferencias obtenidas del comportamiento del modelo sean correctas y sobre todo aplicables al sistema del mundo real. (Ver anexos 4 y 5)

Durante la corrida de cada modelo fue necesario realizar las revisiones y ajustes de cada uno de ellos para garantizar su congruencia con la realidad, para ello se recurrió al criterio de un experto que revisó el modelo planteado y realizó las recomendaciones del caso encaminados a avanzar al siguiente paso que era la estabilización y posterior validación del modelo.

Correr los modelos permitió establecer la necesidad de utilizar la versión profesional del ARENA 12.0, ya que al correrlo en la versión estudiantil se limitaba

la simulación debido a que el número de entidades en transición superaba las 150 entidades.

Luego de haber realizado las gestiones pertinentes se logró correr el modelo en la versión profesional de ARENA 12.0 para poder lograr obtener los resultados que se utilizaron para la validación. Cada uno de los modelos fueron corridos para 20 meses (replicas) de 30 días.

6.10 ESTABILIZACIÓN DEL MODELO.

Debido a la naturaleza probabilística de los sistemas donde se utiliza la simulación, se hace imprescindible crear modelos cuyos resultados sean estadísticamente iguales a los sistemas reales. Uno de los factores que afectan en forma directa esos resultados es el tamaño de la corrida de simulación o bien el número de corridas de simulación realizadas para encontrar resultados confiables.

Al realizar una corrida de simulación, el resultado promedio de las variables del sistema tienen un periodo de inestabilidad y, conforme transcurre el tiempo, esas variables tienden a un estado estable y es entonces cuando los valores de las variables de respuesta son confiables.³¹

Para que el resultado de una variable aleatoria llegue al estado estable en una simulación no terminal³², es necesario garantizar que la longitud de la réplica, n ,

³¹ Tomado de <http://www.unamerida.com/archivospdf/337%20Lectura6.3.2.pdf>, VISITADO ÚLTIMA VEZ: 22 de Junio de 2009. 11:54 p.m.

³² **García** Dunna Eduardo, **García** Dunna, **García** Reyes Heriberto, **Cárdenas** Barrón Leopoldo (2006). *Simulación y Análisis de Sistemas Con Promodel*. Editorial Pearson Educación “Una simulación no terminal o de estado estable no involucran una ocurrencia en el tiempo en que tengan que finalizar, por ejemplo, si deseamos conocer el número de máquinas que deben instalarse en un sistema de producción cuya operación tiene que mantenerse activa continuamente durante todo el año, podríamos modelar el sistema hasta que la

sea lo suficientemente grande para que la variación entre réplicas no difiera de cierta exactitud, ϵ , el 100 $(1 - \alpha)$ % de las veces.

En caso de Normalidad el tamaño de corrida de la simulación se calcula mediante:

$$n = \left(\frac{\sigma Z_{\alpha/2}}{\epsilon} \right)^2$$

Cuando se desconoce el tipo de distribución de la variable aleatoria a simular o bien la suposición de normalidad no existe para esta variable, es preciso hacer uso del Teorema de Tchebycheff para calcular la longitud de la réplica. En este caso se utilizó:

$$n = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\sigma}{\epsilon} \right)^2$$

De donde:

$\alpha =$	Nivel de Aceptación.
$\sigma =$	Desviación Estándar de cada grupo de datos.
$\epsilon =$	Desviación absoluta permitida de los datos.
$Z =$	Valor correspondiente a la distribución de Gauss .

Para el caso particular de esta investigación, y para realizar la validación de los modelos de simulación propuestos (descargue de carbón día y descargue de carbón noche) seleccionamos la variable de salida *Cantidades Totales de vehículos atendidos en volcadores por mes* para cada uno de ellos, con esta variable se realizó la validación del modelo.

variable de interés llegara a un estado estable. En este caso surge la necesidad de determinar la longitud de la corrida para asegurar la estabilización de los resultados del modelo”.

En primera instancia se halló la longitud de las replicas, para ello se corrió cada uno de los modelos 20 veces (20 replicas) con un tiempo de corrida de 30 días, estas corridas generaron un reporte del cual se seleccionaron los datos arrojados de la variable de salida *Cantidades Totales de vehículos atendidos en volcadores por mes*, (Ver tablas 56 y 57).

Tabla 56. Cantidades Totales de vehículos atendidos en volcadores por mes, Modelo Día.

	Patio Cinco Volcador 1	Patio Cinco Volcador 2	Patio Ancón Volcador 1	Patio Ancón Volcador 2
Replica 1	2361	1779	3434	3058
Replica 2	2864	1493	3256	3206
Replica 3	2440	1775	3960	2535
Replica 4	2683	1813	3912	2524
Replica 5	2844	1550	3022	3421
Replica 6	2780	1377	4241	2197
Replica 7	1890	2384	3894	2478
Replica 8	2261	1862	3631	2867
Replica 9	2778	1504	3290	3164
Replica 10	2274	1994	3704	2735
Replica 11	2245	2403	3145	2781
Replica 12	948	3371	3355	2432
Replica 13	3034	1371	4366	2148
Replica 14	1848	2284	4244	2081
Replica 15	2603	1662	4883	1607
Replica 16	2923	1349	3533	2899
Replica 17	2618	1650	3415	2971
Replica 18	2859	1616	3207	3252
Replica 19	2351	2284	3023	3471
Replica 20	3055	1547	4114	2349

Fuente: Investigadores (2009)

Tabla 57. Cantidades Totales de vehículos atendidos en volcadores por mes, Modelo noche.

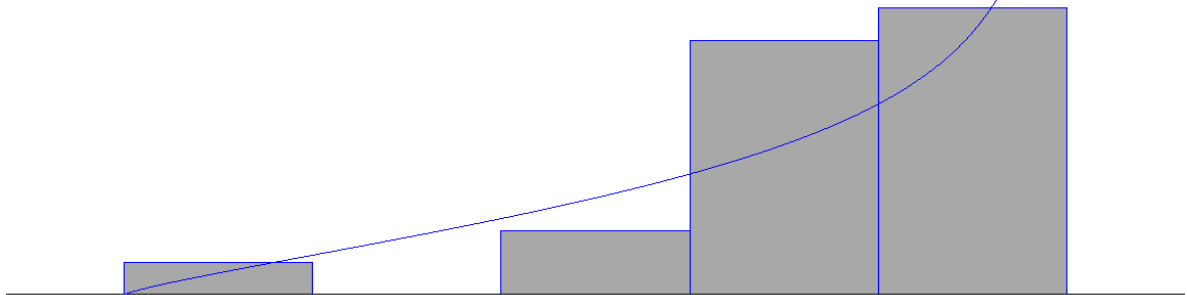
	Patio Cinco Volcador 1	Patio Cinco Volcador 2	Patio Ancón Volcador 1	Patio Ancón Volcador 2
Replica 1	3161	1728	2824	1620
Replica 2	2821	2101	2796	1438
Replica 3	3231	1666	2782	1519
Replica 4	3125	1750	2484	1783
Replica 5	3278	1640	2985	1349
Replica 6	2706	2184	2694	1599
Replica 7	2428	2471	2391	2016
Replica 8	1905	2973	3188	1135
Replica 9	3046	1851	2573	1800
Replica 10	3317	1588	2645	1722
Replica 11	2876	2035	2646	1574
Replica 12	2517	2383	2735	1606
Replica 13	1981	2923	2412	1785
Replica 14	2815	2003	2583	1636
Replica 15	3063	1786	2912	1402
Replica 16	2576	2308	2615	1792
Replica 17	3122	1801	2485	1808
Replica 18	2617	2285	2747	1419
Replica 19	2723	2162	3395	942
Replica 20	3126	1749	2909	1382

Fuente: Investigadores (2009).

Estos datos fueron incluidos en el *INPUT ANALYZER* de ARENA 12.0 para determinar su comportamiento y a qué tipo de distribución de probabilidad se ajustaban cada uno de los grupo de datos, el resultado fue el siguiente:

Patio 5 Volcador 1 Día

Figura 70. Cantidad de Vehículos Descargados por Mes Patio 5 Volcador 1 Modelo Día



Fuente: Investigadores (2009).

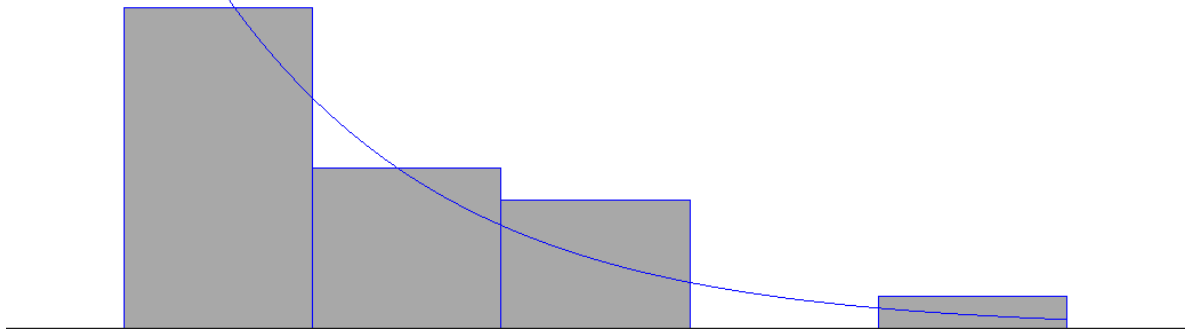
Tabla 58. Información INPUT ANALYZER 35.

Distribution Summary	
Distribution:	Beta
Expression:	$1.9e+003 + 1.41e+003 * \text{BETA}(1.19, 0.644)$
Square Error:	0.018299
Chi Square Test	
Number of intervals	= 2
Degrees of freedom	= -1
Test Statistic	= 0.0476
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.133
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 20
Min Data Value	= $1.91e+003$
Max Data Value	= $3.32e+003$
Sample Mean	= $2.82e+003$
Sample Std Dev	= 400
Histogram Summary	
Histogram Range	= $1.9e+003$ to $3.32e+003$
Number of Intervals	= 5

Fuente: Investigadores (2009).

Patio 5 Volcador 2 Día.

Figura 71. Cantidad de Vehículos Descargados por Mes Patio 5 Volcador 2 Día.



Fuente: Investigadores (2009).

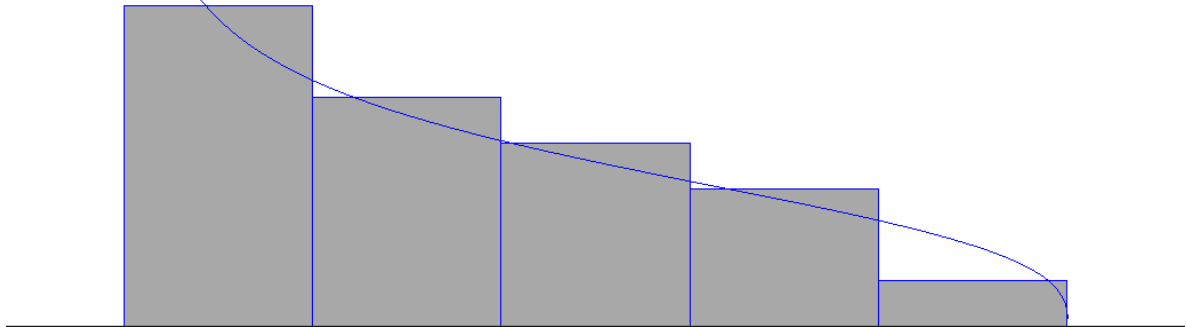
Tabla 59. Información INPUT ANALYZER 35.

Distribution Summary	
Distribution:	Exponential
Expression:	1.35e+003 + EXPO(504)
Square Error:	0.013827
Chi Square Test	
Number of intervals	= 2
Degrees of freedom	= 0
Test Statistic	= 0.791
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0984
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 20
Min Data Value	= 1.35e+003
Max Data Value	= 3.37e+003
Sample Mean	= 1.85e+003
Sample Std Dev	= 491
Histogram Summary	
Histogram Range	= 1.35e+003 to 3.37e+003
Number of Intervals	= 5

Fuente: Investigadores (2009).

Patio Ancón Volcador 1 Día.

Figura 72. Cantidad de Vehículos Descargados por Mes Datos Patio Ancón Volcador 1 Día



Fuente: Investigadores (2009).

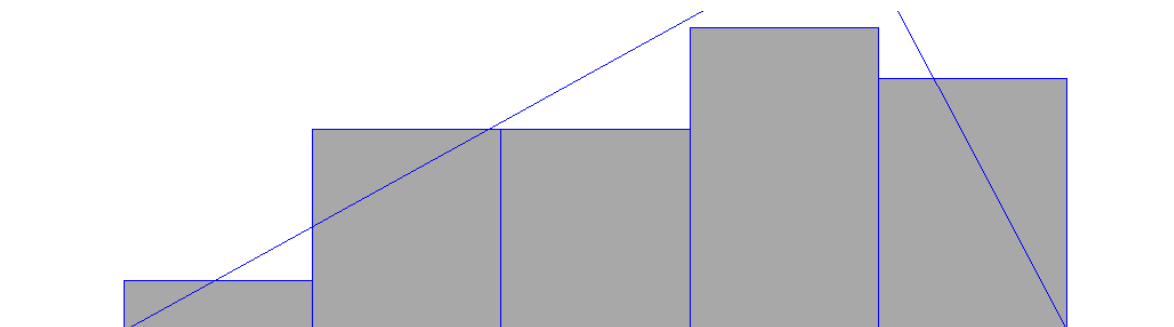
Tabla 60. Información INPUT ANALYZER 36.

Distribution Summary	
Distribution:	Beta
Expression:	$3.02e+003 + 1.86e+003 * \text{BETA}(0.738, 1.34)$
Square Error:	0.004158
Chi Square Test	
Number of intervals	= 2
Degrees of freedom	= -1
Test Statistic	= 0.183
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.0954
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 20
Min Data Value	= $3.02e+003$
Max Data Value	= $4.88e+003$
Sample Mean	= $3.68e+003$
Sample Std Dev	= 507
Histogram Summary	
Histogram Range	= $3.02e+003$ to $4.88e+003$
Number of Intervals	= 5

Fuente: Investigadores (2009).

Patio Ancón Volcador 2 Día.

Figura 73. Cantidad de Vehículos Descargados por Mes Patio Ancón Volcador 2 Día.



Fuente: Investigadores (2009).

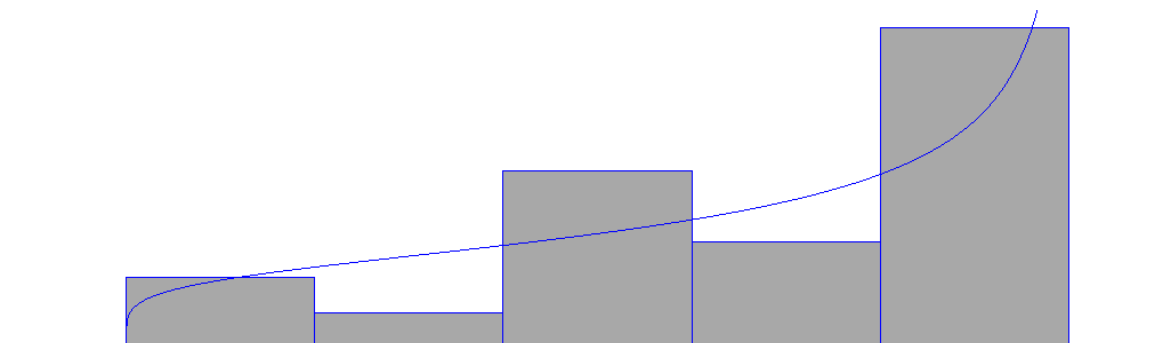
Tabla 61. Información INPUT ANALYZER 37.

Distribution Summary	
Distribution:	Triangular
Expression:	TRIA(1.61e+003, 3.05e+003, 3.47e+003)
Square Error:	0.014229
Chi Square Test	
Number of intervals	= 2
Degrees of freedom	= 0
Test Statistic	= 0.207
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.13
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 20
Min Data Value	= 1.61e+003
Max Data Value	= 3.47e+003
Sample Mean	= 2.71e+003
Sample Std Dev	= 492
Histogram Summary	
Histogram Range	= 1.61e+003 to 3.47e+003
Number of Intervals	= 5

Fuente: Investigadores (2009).

Patio 5 Volcador 1 Noche.

Figura 74. Cantidad de Vehículos Descargados por Mes Patio 5 Volcador 1 Noche.



Fuente: Investigadores (2009).

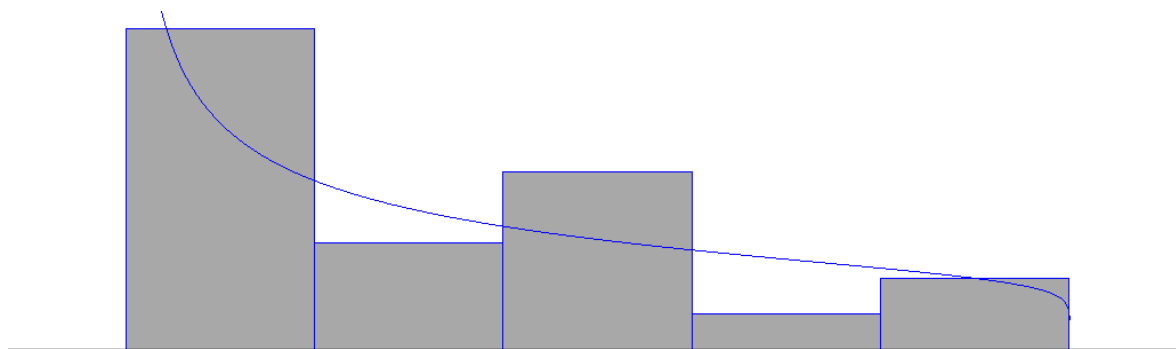
Tabla 62. Información INPUT ANALYZER 38.

Distribution Summary	
Distribution:	Beta
Expression:	$1.9e+003 + 1.41e+003 * \text{BETA}(1.19, 0.644)$
Square Error:	0.018299
Chi Square Test	
Number of intervals	= 2
Degrees of freedom	= -1
Test Statistic	= 0.0476
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.133
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 20
Min Data Value	= $1.91e+003$
Max Data Value	= $3.32e+003$
Sample Mean	= $2.82e+003$
Sample Std Dev	= 400
Histogram Summary	
Histogram Range	= $1.9e+003$ to $3.32e+003$
Number of Intervals	= 5

Fuente: Investigadores (2009).

Patio 5 Volcador 2 Noche.

Figura 75. Cantidad de Vehículos Descargados por Mes Patio 5 Volcador 2 Noche.



Fuente: Investigadores (2009).

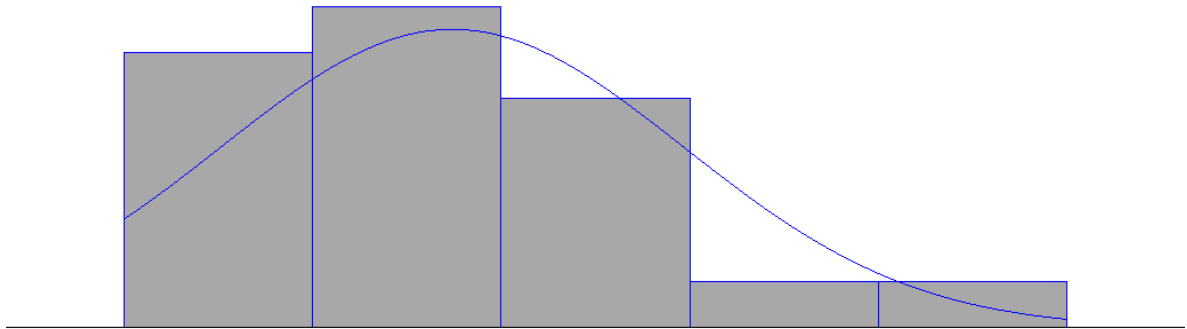
Tabla 63. Información INPUT ANALYZER 39.

Distribution Summary	
Distribution:	Beta
Expression:	$1.59e+003 + 1.39e+003 * \text{BETA}(0.598, 1.12)$
Square Error:	0.017450
Chi Square Test	
Number of intervals	= 2
Degrees of freedom	= -1
Test Statistic	= 0.141
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.131
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 20
Min Data Value	= $1.59e+003$
Max Data Value	= $2.97e+003$
Sample Mean	= $2.07e+003$
Sample Std Dev	= 400
Histogram Summary	
Histogram Range	= $1.59e+003$ to $2.97e+003$
Number of Intervals	= 5

Fuente: Investigadores (2009).

Patio Ancón Volcador 1 Noche.

Figura 76. Cantidad de Vehículos Descargados por Mes Patio Ancón Volcador 1 Noche.



Fuente: Investigadores (2009).

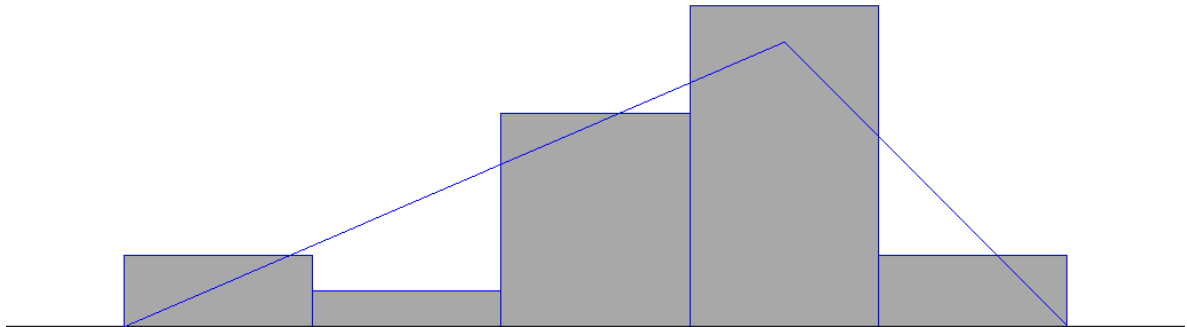
Tabla 64. Información INPUT ANALYZER 40.

Distribution Summary	
Distribution:	Normal
Expression:	NORM(2.74e+003, 246)
Square Error:	0.017844
Chi Square Test	
Number of intervals	= 2
Degrees of freedom	= -1
Test Statistic	= 1.01
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.194
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 20
Min Data Value	= 2.39e+003
Max Data Value	= 3.4e+003
Sample Mean	= 2.74e+003
Sample Std Dev	= 252
Histogram Summary	
Histogram Range	= 2.39e+003 to 3.4e+003
Number of Intervals	= 5

Fuente: Investigadores (2009).

Patio Ancón Volcador 2 Noche.

Figura 77. Cantidad de Vehículos Descargados por Mes Patio Ancón Volcador 2 Noche.



Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 65. Información INPUT ANALYZER 41.

Distribution Summary	
Distribution:	Triangular
Expression:	TRIA(942, 1.69e+003, 2.02e+003)
Square Error:	0.027426
Chi Square Test	
Number of intervals	= 2
Degrees of freedom	= 0
Test Statistic	= 0.872
Corresponding p-value	< 0.005
Kolmogorov-Smirnov Test	
Test Statistic	= 0.143
Corresponding p-value	> 0.15
Data Summary	
Number of Data Points	= 20
Min Data Value	= 942
Max Data Value	= 2.02e+003
Sample Mean	= 1.57e+003
Sample Std Dev	= 253
Histogram Summary	
Histogram Range	= 942 to 2.02e+003
Number of Intervals	= 5

Fuente: Investigadores (2009).

De esta manera se usara la fórmula para variables aleatorias con distribución No normal para los datos con comportamiento No normal y la formula en caso de normalidad para aquellos que siguen un comportamiento según la distribución normal, en la Tabla 66. se presenta el consolidado de los tipos de distribución de probabilidad de los datos:

Tabla 66. Consolidado Comportamiento de la variable de salida Toneladas descargadas.

Patio 5 Volcador 1 Día	Beta
Patio 5 Volcador 2 Día.	Exponencial
Patio Ancón Volcador 1 Día.	Beta.
Patio Ancón Volcador 2 Día.	Triangular.
Patio 5 Volcador 1 Noche	Beta.
Patio 5 Volcador 2 Noche.	Beta.
Patio Ancón Volcador 1 Noche.	Normal.
Patio Ancón Volcador 2 Noche.	Triangular.

Fuente: Investigadores (2009).

Del análisis realizado por el INPUT ANALYZER requerimos los siguientes datos:

Tabla 67. Consolidado de media y desviación estándar de los datos arrojados por el modelo.

	MEDIA	DESVIACIÓN ESTANDAR
Patio 5 Volcador 1 Día	2482,95	501,78
Patio 5 Volcador 2 Día.	1853,4	490,81
Patio Ancón Volcador 1 Día.	3681,45	507,02
Patio Ancón Volcador 2 Día.	2708,8	492,23
Patio 5 Volcador 1 Noche	2821,70	400,18
Patio 5 Volcador 2 Noche.	2069,35	399,77
Patio Ancón Volcador 1 Noche.	2740,05	252,15
Patio Ancón Volcador 2 Noche.	1566,35	253,40

Fuente: Investigadores (2009).

Aplicando las respectivas fórmulas a cada grupo de datos arrojados por INPUT ANALYZER (Cantidades Totales de vehículos atendidos en volcadores por mes día y noche) tenemos:

De donde:

$\alpha =$	Nivel de Aceptación, para todos los datos 0.05.
$\sigma =$	Desviación Estándar de cada grupo de datos.
$\epsilon =$	Desviación absoluta permitida de los datos, ± 1000 Vehículos.
$Z =$	Valor correspondiente a la distribución de Gauss 1,96 para $\alpha = 0,05$ y 2,58 para $\alpha = 0,01$. En nuestro caso $Z_{\alpha/2}$ depende del nivel de confianza que queramos que tengan nuestros datos. Por lo general se trabaja con un nivel del 95% lo que nos daría un alfa de 0.05, entonces: $Z_{\alpha/2} = Z_{0,025} = 1.96$

Patio Cinco Volcador 1 Día.

$$n = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\sigma}{\epsilon} \right)^2 = \frac{1}{0,05} \left(\frac{501,78}{1000} \right)^2 =$$

$$n = 20(0,50178)^2 = 20(0,2517) = 5,03 \cong 6 \text{ días.}$$

Patio Cinco Volcador 2 Día.

$$n = \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\sigma}{\epsilon} \right)^2 = \frac{1}{0,05} \left(\frac{409,81}{1000} \right)^2 =$$

$$n = 20(0,49081)^2 = 20(0,2408) = 4,8 \cong 5 \text{ días.}$$

Patio Ancón Volcador 1 Día.

$$= \frac{1}{\alpha} \left(\frac{\sigma}{\epsilon} \right)^2 = \frac{1}{0,05} \left(\frac{507,02}{1000} \right)^2 =$$

$$n = 20(0,50702)^2 = 20(0,2570) = 5,14 \cong 6 \text{ días.}$$

Patio Ancón Volcador 2 Día.

$$\frac{1}{\alpha} \left(\frac{\sigma}{\epsilon} \right)^2 = \frac{1}{0,05} \left(\frac{492,23}{1000} \right)^2 =$$

$$n = 20(0,49223)^2 = 20(0,2422) = 4,8 \cong 5 \text{ días.}$$

Patio Cinco Volcador 1 Noche.

$$\frac{1}{\alpha} \left(\frac{\sigma}{\epsilon} \right)^2 = \frac{1}{0,05} \left(\frac{400,18}{1000} \right)^2 =$$

$$n = 20(0,40018)^2 = 20(0,16014) = 3,20 \cong 4 \text{ días.}$$

Patio Cinco Volcador 2 Noche.

$$\frac{1}{\alpha} \left(\frac{\sigma}{\epsilon} \right)^2 = \frac{1}{0,05} \left(\frac{399,77}{1000} \right)^2 =$$

$$n = 20(0,39977)^2 = 20(0,1598) = 3,19 \cong 4 \text{ días.}$$

Patio Ancón Volcador 1 Noche.

$$n = \left(\frac{\sigma Z_{\alpha/2}}{\epsilon} \right)^2 = \left(\frac{252,15(1,96)}{1000} \right)^2 =$$

$$n = 0,24 \cong 1 \text{ día.}$$

Patio Ancón Volcador 2 Noche.

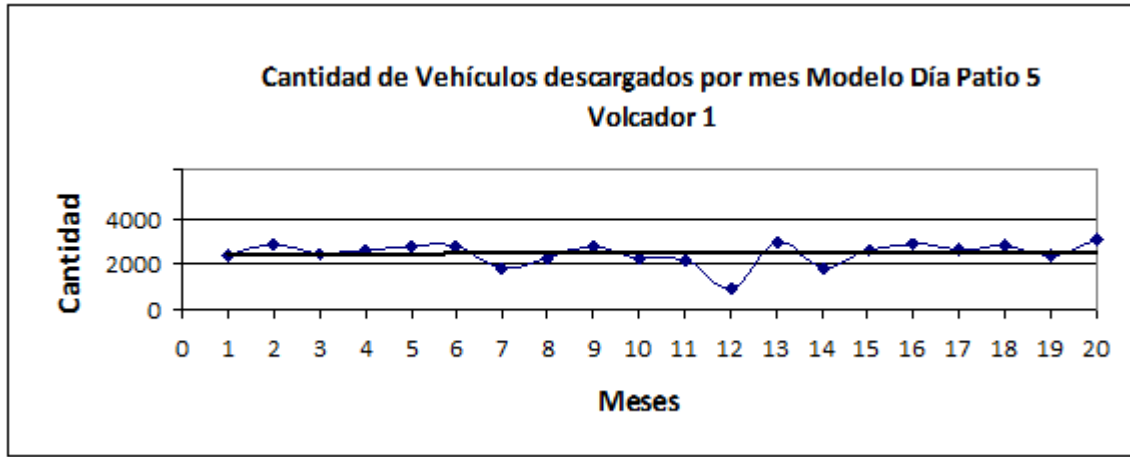
$$\frac{1}{\alpha} \left(\frac{\sigma}{\epsilon} \right)^2 = \frac{1}{0,05} \left(\frac{253,40}{1000} \right)^2 =$$

$$n = 20(0,2534)^2 = 20(0,0642) = 1,28 \cong 2 \text{ días.}$$

Debido a que en los modelos se tienen varios datos de la misma variable (Cantidades Totales de vehículos atendidos en volcadores por mes día y noche) se ejecutó el cálculo para cada una de los grupos de datos y se seleccionó el dato de mayor de valor de todas las n ; éste dato nos indica la longitud de la corrida o réplica, es decir, que cantidad de días se debe correr el modelo generado, para el caso del modelo DÍA la longitud de la corrida es de 6 días, mientras que para el modelo NOCHE la longitud de la corrida es de 4 días, debido a que la longitud de las corridas del modelo son de 30 días podemos decir que el modelo se encuentra estabilizado.

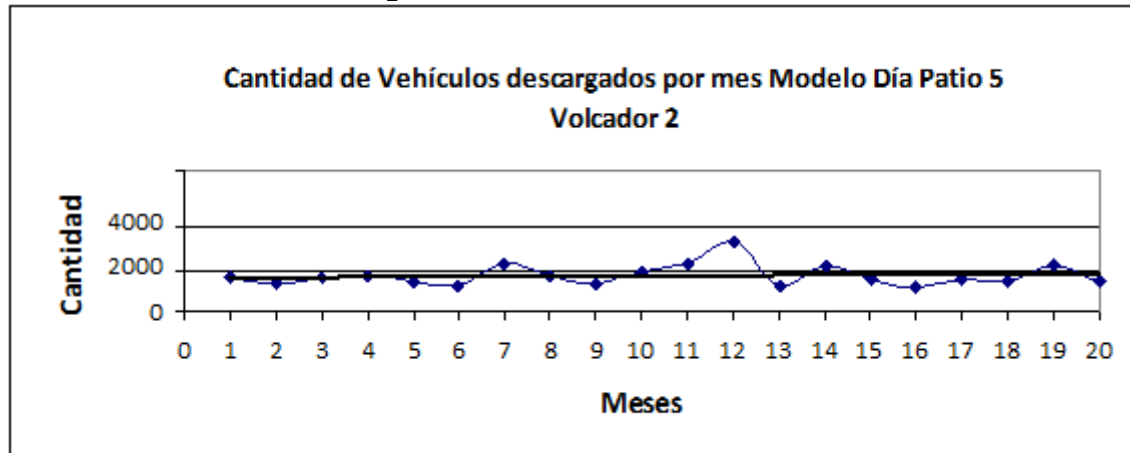
A continuación se presentan las gráficas de Estabilización de la variable de salida *Cantidades Totales de vehículos atendidos en volcadores por mes* para cada uno de los grupos de datos de cada modelo (Modelo día y Modelo Noche):

Figura 78. Gráfica de Estabilización 1.



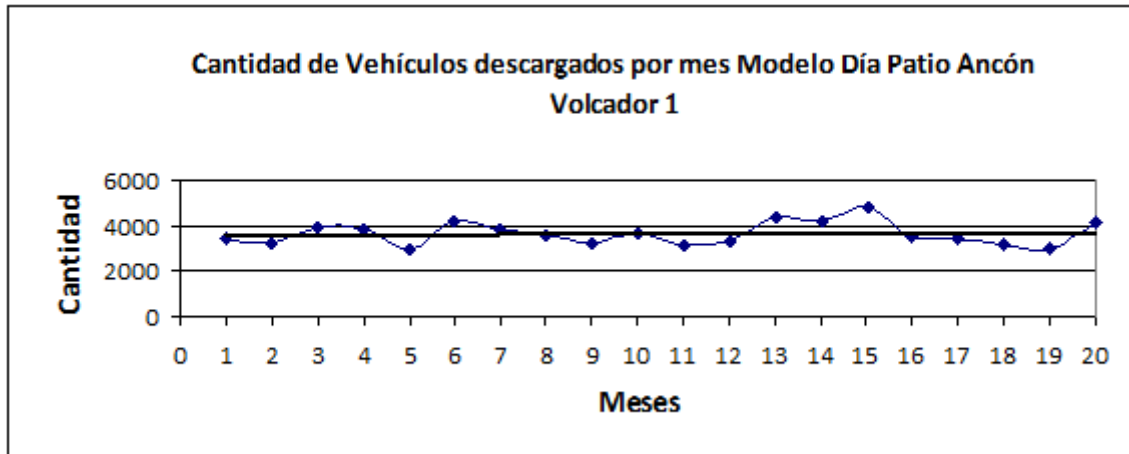
Fuente: Investigadores (2009).

Figura 79. Gráfica de Estabilización 2.



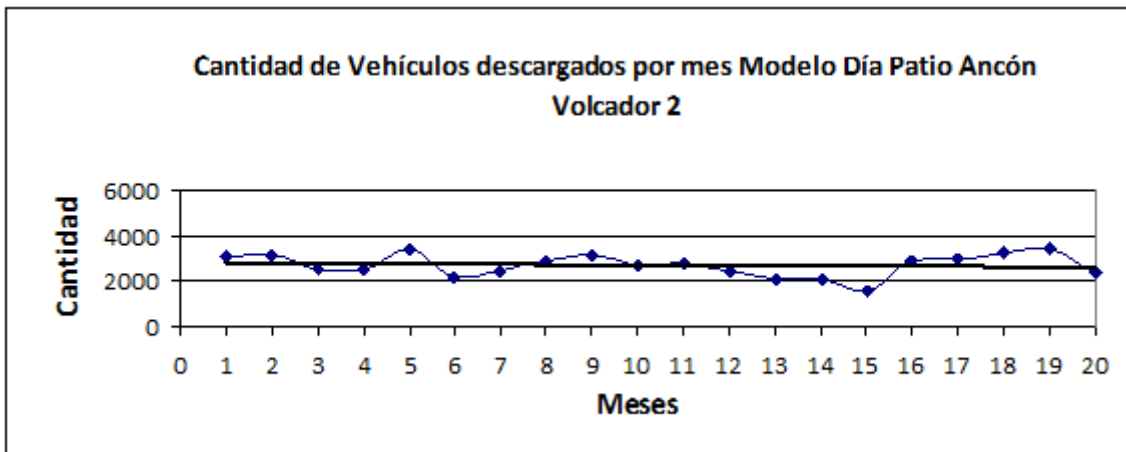
Fuente: Investigadores (2009).

Figura 80. Gráfica de Estabilización 3.



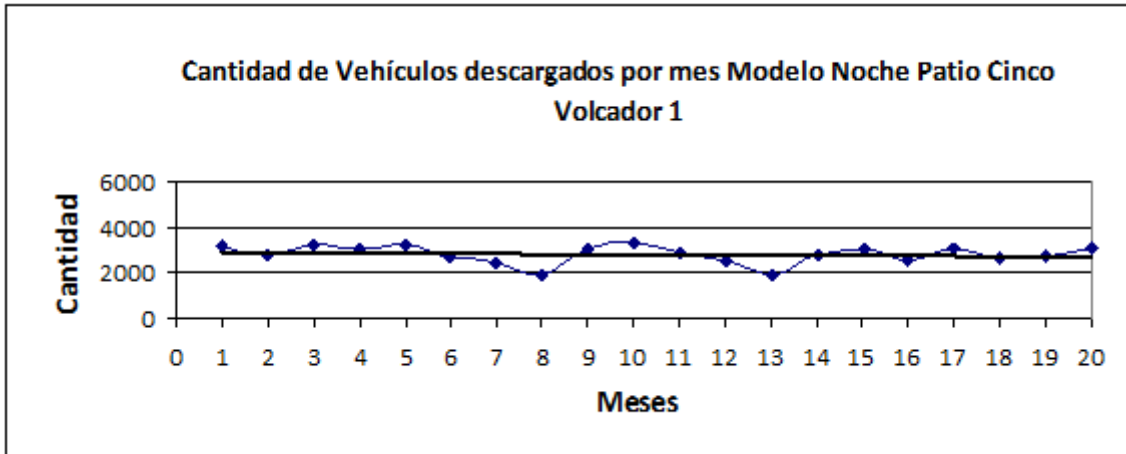
Fuente: Investigadores (2009).

Figura 81. Gráfica de Estabilización 4.



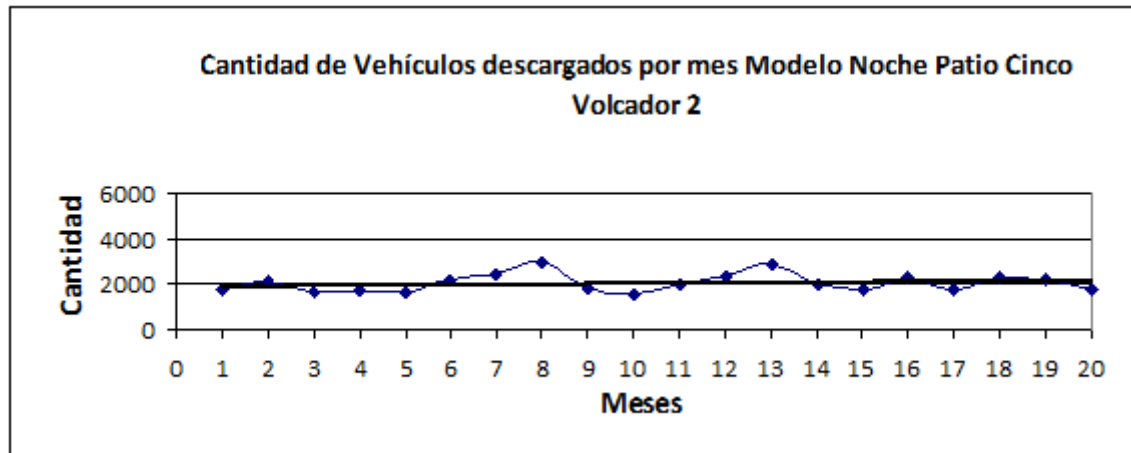
Fuente: Investigadores (2009).

Figura 82. Gráfica de Estabilización 5.



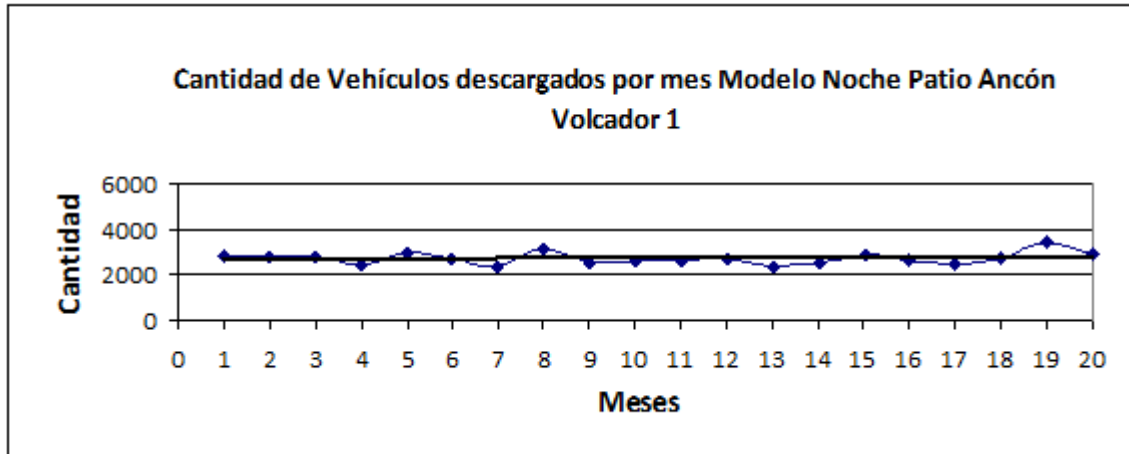
Fuente: Investigadores (2009).

Figura 83. Gráfica de Estabilización 6.



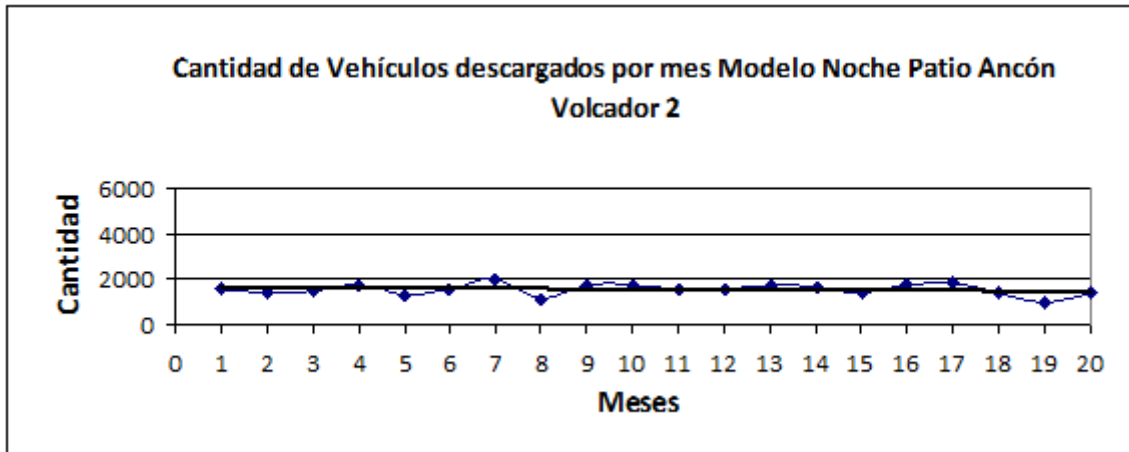
Fuente: Investigadores (2009).

Figura 84. Gráfica de Estabilización 7.



Fuente: Investigadores (2009).

Figura 85. Gráfica de Estabilización 8.



Fuente: Investigadores (2009).

6.11 VALIDACIÓN DEL MODELO DE SIMULACIÓN.

La validación es la demostración de que el modelo es realmente una representación fiel de la realidad. La validación se lleva a cabo, generalmente, a través de un proceso comparativo entre ambas partes y usa las diferencias para lograr el objetivo.

En el proceso de validación usualmente se emplean diferentes pruebas estadísticas³³, para el caso particular de esta investigación se utilizará la *Prueba de estimaciones de los parámetros de la población asumiendo una distribución de probabilidad (pruebas F, t y z)*.

Para la validación del modelo se consideraron los datos resultados de la operación (datos reales) de la variable *Cantidades Totales de vehículos atendidos en volcadores por mes*, comprendidos desde enero de 2008 hasta mayo de 2009, de la misma manera se consideraron los datos de las 20 replicas arrojados del modelo tal como se presenta en las Tablas 68, 69, 70 y 71.

³³ Tomado de <http://www.unamerida.com/archivospdf/337%20Lectura6.3.2.pdf>, VISITADO ÚLTIMA VEZ: 22 de Junio de 2009. 11:54 p.m.

Tabla 68. Cantidad de Vehículos Descargados por Mes Reales Día.

MES	VOL 1 P5	VOL 2 P5	VOL1 PANCON	VOL 2 PANCON
ENE-08	2313	2362	2504	2515
FEB-08	2267	2393	2344	2738
MAR-08	2359	2574	2375	2348
ABR-08	2771	2172	2562	2634
MAY-08	2117	2201	2236	2468
JUN-08	3244	3314	3344	3452
JUL-08	1942	1811	2341	2017
AGO-08	2098	2038	2293	2192
SEP-08	2931	2901	2688	2548
OCT-08	2854	2785	1557	1419
NOV-08	2633	1813	3812	2534
DIC-08	2944	2550	3002	3521
ENE-09	3128	2111	2556	2491
FEB-09	2267	2393	3344	2738
MAR-09	2325	1363	3835	1780
ABR-09	2361	1779	3434	3158
MAY-09	1890	2384	3867	2458
MEDIA	2497	2291	2829	2530
VARIANZA	172013	221576	449369	283898

Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 69. Cantidad de Vehículos Descargados por Mes Reales Noche.

MES	VOL 1P5	VOL2 P5	VOL1 PANCON	VOL 2 PANCON
ENE-08	2468	2410	3592	3539
FEB-08	2535	2614	3922	3422
MAR-08	1370	2469	3521	3523
ABR-08	2156	2351	3639	3690
MAY-08	2225	2340	3394	3533
JUN-08	1313	2355	4170	3298
JUL-08	2201	2233	3172	3862
AGO-08	2096	2977	3650	3457
SEP-08	1264	1283	3882	3791
OCT-08	2429	2298	3348	3287
NOV-08	3288	2640	2995	3349
DIC-08	2736	2184	2694	3599
ENE-09	2100	3394	3573	3676
FEB-09	2535	2614	3578	2684
MAR-09	1675	2604	4013	2808
ABR-09	2131	2101	3567	2865
MAY-09	2225	1340	3394	3533
MEDIA	2162	2365	3536	3407
VARIANZA	278177	253101	133692	113381

Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 70. Cantidad de Vehículos Descargados por Mes Resultado Modelo Día.

MES (REPLICAS)	VOL 1P5	VOL2 P5	VOL1 PANCON	VOL 2 PANCON
1	2361	1779	3434	3058
2	2864	1493	3256	3206
3	2440	1775	3960	2535
4	2683	1813	3912	2524
5	2844	1550	3022	3421
6	2780	1377	4241	2197
7	1890	2384	3894	2478
8	2261	1862	3631	2867
9	2778	1504	3290	3164
10	2274	1994	3704	2735
11	2245	2403	3145	2781
12	948	3371	3355	2432
13	3034	1371	4366	2148
14	1848	2284	4244	2081
15	2603	1662	4883	1607
16	2923	1349	3533	2899
17	2618	1650	3415	2971
18	2859	1616	3207	3252
19	2351	2284	3023	3471
20	3055	1547	4114	2349
MEDIA	2483	1853	3681	2709
VARIANZA	251788	240897	257071	242299

Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 71. Cantidad de Vehículos Descargados por Mes Resultado Modelo Noche.

MES (REPLICAS)	VOL 1P5	VOL2 P5	VOL1 PANCON	VOL 2 PANCON
1	3161	1728	2824	1620
2	2821	2101	2796	1438
3	3231	1666	2782	1519
4	3125	1750	2484	1783
5	3278	1640	2985	1349
6	2706	2184	2694	1599
7	2428	2471	2391	2016
8	1905	2973	3188	1135
9	3046	1851	2573	1800
10	3317	1588	2645	1722
11	2876	2035	2646	1574
12	2517	2383	2735	1606
13	1981	2923	2412	1785
14	2815	2003	2583	1636
15	3063	1786	2912	1402
16	2576	2308	2615	1792
17	3122	1801	2485	1808
18	2617	2285	2747	1419
19	2723	2162	3395	942
20	3126	1749	2909	1382
MEDIA	2822	2069	2740	1566
VARIANZA	160149	159821	63580	64212

Fuente: Investigadores (2009).

A continuación se presenta la Hipótesis sobre la varianza para cada uno de los volcadores y de los modelos día y noche:

Volcador 1 Patio 5 Día.

$$H_0: V(MODELO) = V-REAL)$$

$$H_1: V(MODELO) \neq V-REAL)$$

$$V-REAL) = 172013$$

$$V(MODELO) = 251788$$

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{172013}{251788} = 0.6831$$

Volcador 2 Patio 5 Día.

$$H_0: V(MODELO) = V-REAL)$$

$$H_1: V(MODELO) \neq V-REAL)$$

$$V-REAL) = 221576$$

$$V(MODELO) = 240897$$

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{221576}{240897} = 0.9197$$

Volcador 1 patio Ancón Día.

$$H_0: V(MODELO) = V-REAL)$$

$$H_1: V(MODELO) \neq V-REAL)$$

$$V-REAL) = 449369$$

$$V(MODELO) = 257071$$

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{449369}{257071} = 1.7480$$

Volcador 2 Patio Ancón Día.

$$H_0: V(MODELO) = V(REAL)$$

$$H_i: V(MODELO) \neq V(REAL)$$

$$V(REAL) = 283898$$

$$V(MODELO) = 242299$$

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{283898}{242299} = 1.1716$$

Volcador 1 Patio 5 Noche.

$$H_0: V(MODELO) = V(REAL)$$

$$H_i: V(MODELO) \neq V(REAL)$$

$$V(REAL) = 278177$$

$$V(MODELO) = 160149$$

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{278177}{160149} = 1.7369$$

Volcador 2 Patio 5 Noche.

$$H_0: V(MODELO) = V(REAL)$$

$$H_i: V(MODELO) \neq V(REAL)$$

$$V(REAL) = 253101$$

$$V(MODELO) = 159821$$

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{253101}{159821} = 1.5836$$

Volcador 1 Patio Ancón Noche.

$$H_0: V(MODELO) = V(REAL)$$

$$H_i: V(MODELO) \neq V(REAL)$$

$$V(REAL) = 133692$$

$$V(MODELO) = 63580$$

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{133692}{63580} = 2.1027$$

Volcador 2 Patio Ancón Noche.

$$H_0: V(MODELO) = V(REAL)$$

$$H_i: V(MODELO) \neq V(REAL)$$

$$V(REAL) = 113381$$

$$V(MODELO) = 64212$$

$$F_0 = \frac{S_1^2}{S_2^2} = \frac{113381}{64212} = 1.7657$$

El valor F_c de las tablas con 17 y 20 grados de libertad y con un nivel de rechazo de un 5 % es de 2.18, al comparar cada uno de los valores F_0 presentados en la Tabla 72, podemos notar que en todos los casos estos valores son inferiores al F_0 lo cual nos faculta a aceptar la hipótesis de que la varianza arrojada por el modelo es igual a la varianza de los datos reales, por tanto podemos inferir que los resultados del modelo son congruentes con la realidad.

Tabla 72. Tabla de Consolidado de datos F_0

VOLCADORES	MODELO DIA F_0	MODELO NOCHE F_0
1 Patio 5	0.6831	1.7369
2 Patio 5	0.9197	1.5836
1 Patio Ancón	1.7480	2.1027
2 Patio Ancón	1.1716	1.7657

Fuente: Investigadores (2009).

6.12 ANÁLISIS DE RESULTADOS.

A continuación se presentan las tablas de resultados de la utilización de los Recursos (Resources) en el proceso de descargue por tractomulas:

Tabla 73. Porcentaje de Utilización de los Volcadores por Mes – Modelo Día.

REPLICA	VOL 1 PATIO 5	VOL 2 PATIO 5	VOL 1 PATIO ANCÓN.	VOL 2 PATIO ANCÓN.
1	17,5	13,12	24,05	22,51
2	21,72	11,17	23,38	23,54
3	18,74	13,74	27,46	19,26
4	20,75	14,17	25,4	18,43
5	21,61	10,47	20,17	24,57
6	21,52	9,89	29,07	17,13
7	13,65	18,05	26,81	17,74
8	17,46	14,87	24,92	21,42
9	20,74	11,72	24,24	22,96
10	17,63	26,36	26,36	19,8
11	17,46	18,53	21,89	20,81
12	6,366799	24,59	23,87	17,48
13	22,69	9,87	29,32	15,13
14	14,08	16,77	30,66	14,97
15	19,96	12,48	35,19	11,64
16	22,11	10,02	24,12	21,41
17	20,15	12,03	24,24	22,18
18	21,13	11,63	23,76	23,01
19	17,7	16,74	21,35	25,78
20	23,32	11,12	27,58	16,88
PROMEDIOS	18,814	14,367	25,692	19,8325
PROMEDIO TOTAL	19,67			

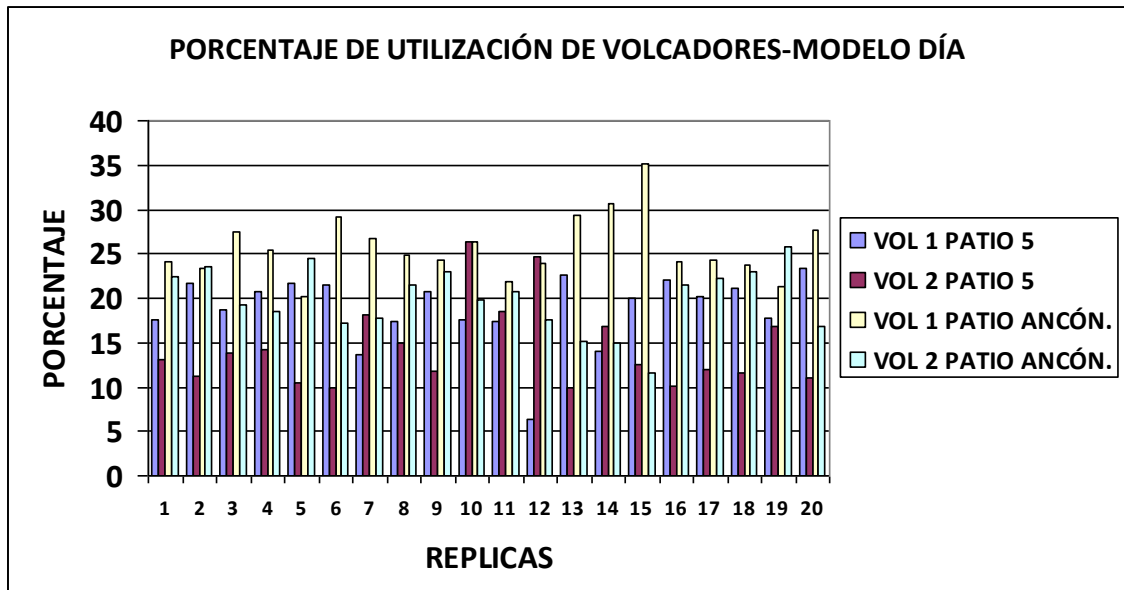
Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 74. Porcentaje de Utilización de los Volcadores por Mes – Modelo Noche.

REPLICA	VOL 1 PATIO 5	VOL 1 PATIO ANCÓN.	VOL 2 PATIO 5	VOL 2 PATIO ANCÓN.
1	22,65	19,45	12,25	11,84
2	18,54	18,54	14,82	10,88
3	23,7	19,13	13,15	11,26
4	22,56	17,54	12,59	12,47
5	24,28	20,75	12,52	9,02
6	20,4	17,86	16,75	11,23
7	17,84	17,27	17,59	14,71
8	14,19	22,58	23,68	8,469667
9	23,22	17,25	13,35	12,83
10	25,01	19,12	11,29	12,83
11	22,19	18,1	15,44	11,14
12	19,49	19,08	17,13	11,61
13	15,91	17,33	21,95	12,89
14	20,85	18,82	15,3	11,49
15	22,8	20,26	13,39	10,21
16	18,38	18,48	16,99	12,75
17	24,3	17,43	13,8	13,23
18	19,46	19,19	16,23	10,04
19	19,53	23,8	15,96	8,064565
20	22,92	20,71	12,68	9,46
PROMEDIO	20,911	19,135	15,343	11,321
PROMEDIO TOTAL	16,67			

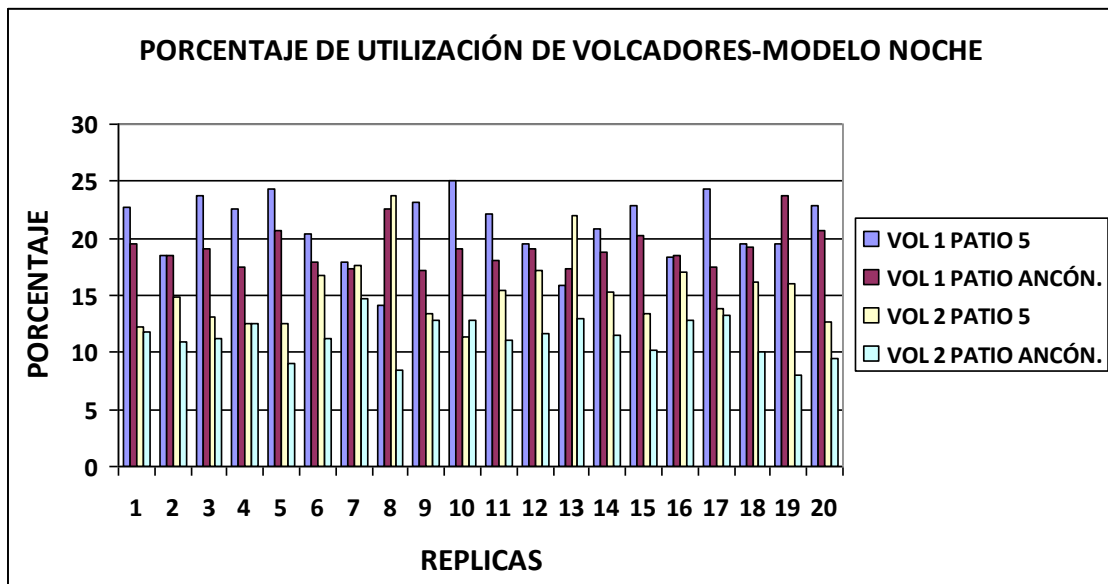
Fuente: Investigadores (2009).

Figura 86. Porcentaje de Utilización de Volcadores por Mes - Modelo Día.



Fuente: Investigadores (2009).

Figura 87. Porcentaje de Utilización de Volcadores por Mes - Modelo Noche.



Fuente: Investigadores (2009).

Tablas de resultados de Toneladas de carbón descargadas en patios por mes de los modelos día y noche en el proceso de descargue por tractomulas:

Tabla 75. Cantidad de Toneladas Descargadas por Mes Modelo Carbón Día.

REPLICAS	TON DESCARGADAS PATIO 5	TON DESCARGADAS PATIO ANCON
1	148934	233629
2	156839	232552
3	151549	233725
4	161939	231676
5	158188	231996
6	149655	231693
7	153039	229335
8	148305	233850
9	154193	232325
10	153722	231722
11	165530	213319
12	155482	208357
13	158598	234531
14	148681	227520
15	153439	233641
16	153692	231510
17	153522	229837
18	161104	232544
19	166115	233702
20	165548	232531
PROMEDIO	155904	230000
PROMEDIO TOTAL	192952	

Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 76. Cantidad de Toneladas Descargados por Mes Modelo Carbón Noche.

REPLICAS	TON DESCARGADAS PATIO 5	TON DESCARGADAS PATIO ANCON
1	176028	159984
2	177155	152299
3	176230	154732
4	175338	153560
5	176954	155927
6	176103	154455
7	174669	158592
8	175574	155618
9	176316	157511
10	176586	157199
11	176546	151898
12	176400	156164
13	176161	151007
14	173160	151874
15	174647	155211
16	175844	158602
17	177214	154475
18	176028	149997
19	175798	156186
20	175521	154416
PROMEDIO	175914	154985
PROMEDIO TOTAL	165449,5	

Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 77. Cantidad de Toneladas Descargados por Mes Reales Carbón Día.

MES/2009	TON DESCARGADAS PATIO 5	TON DESCARGADAS PATIO ANCON
ENERO	163642	216914
FEBRERO	197144	172473
MARZO	185196	263066
ABRIL	114995	190328
MAYO	152431	289067
PROMEDIO	162682	226370

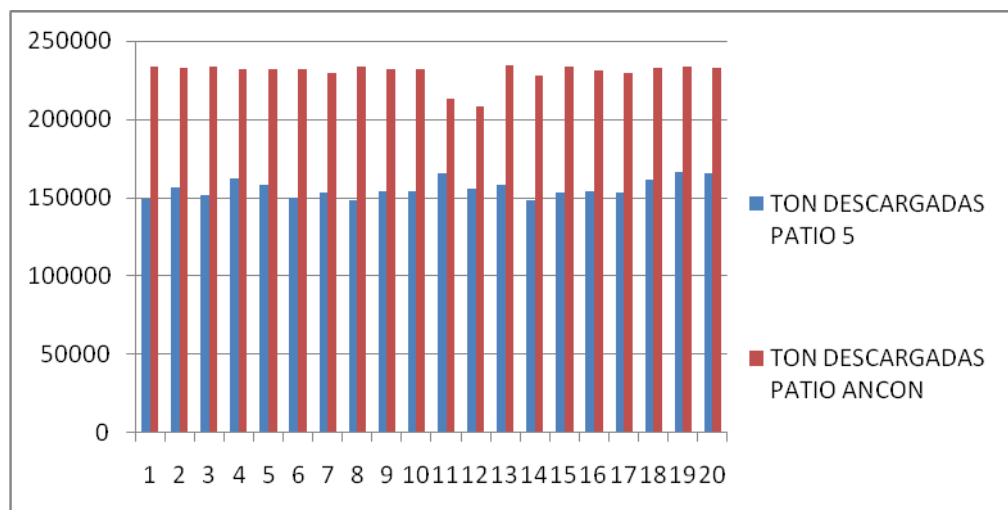
Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 78. Cantidad de Toneladas Descargados por Mes Reales Carbón Noche.

MES/ 2009	TON DESCARGADAS PATIO 5	TON DESCARGADAS PATIO ANCON
ENERO	179612	161876
FEBRERO	158389	175200
MARZO	183123	128612
ABRIL	174823	154475
MAYO	161485	136286
PROMEDIO	171486	151290

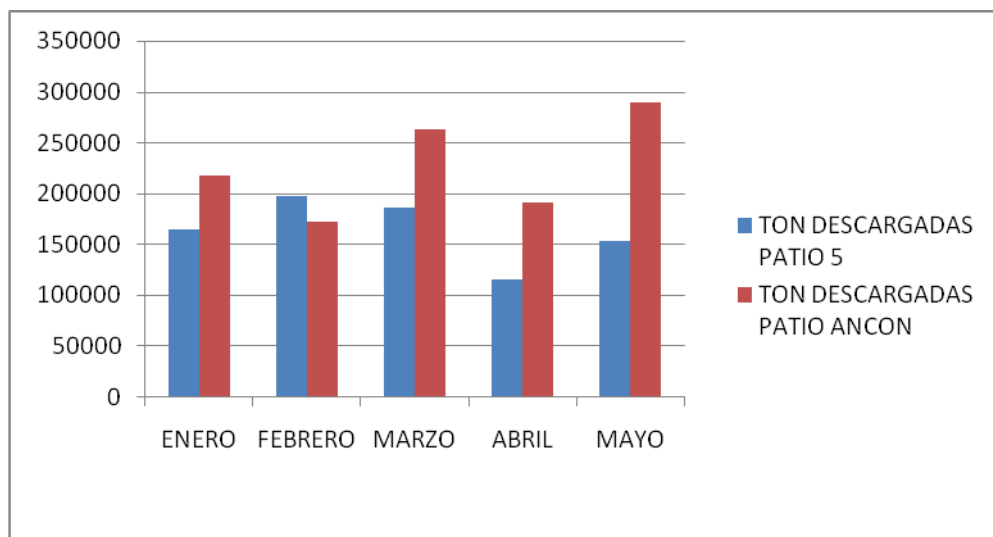
Fuente: Investigadores (2009).

Figura 88. Cantidad de Toneladas Descargados por Mes Modelo Carbón Día.



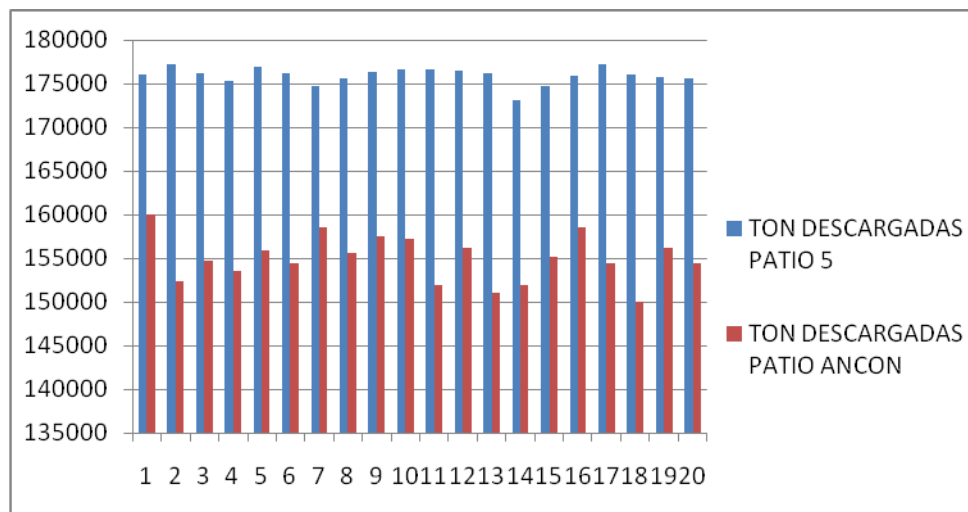
Fuente: Investigadores (2009).

Figura 89. Cantidad de Toneladas Descargados por Mes Reales Día.



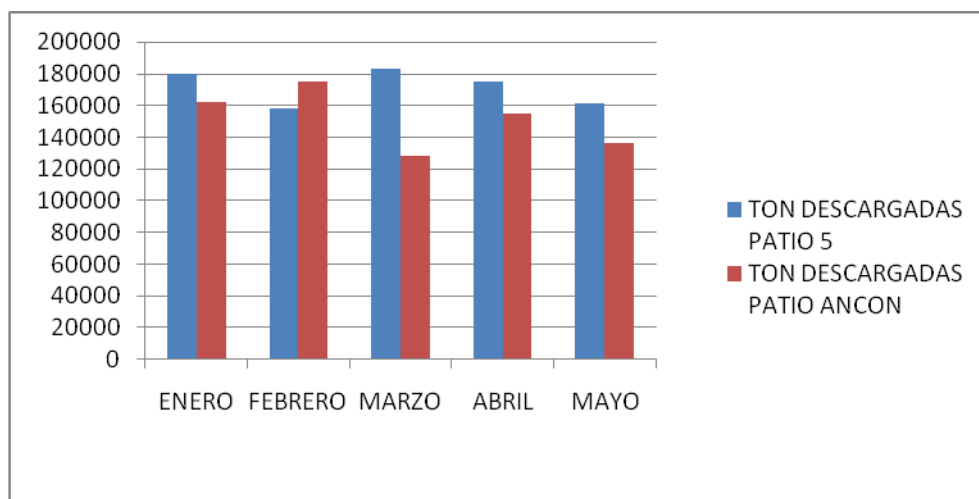
Fuente: Investigadores (2009).

Figura 90. Cantidad de Toneladas Descargados por Mes Modelo Carbón Noche.



Fuente: Investigadores (2009).

Figura 91. Cantidad de Toneladas Descargados por Mes Real Noche.



Fuente: Investigadores (2009).

En la siguiente página se observan las Tablas de resultados de tiempos de cola (espera) por modelo en el proceso de descargue por tractomulas y sus respectivas gráficas de comportamiento:

Tabla 79. Tiempos de Colas Modelo Día (min).

COLAS MODELO DIA	Waiting Time (Replicas)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Access 1,Queue	0,17	0,37	0,34	0,39	0,15	0,46	0,14	0,16	0,18	0,45	0,19	0,14	0,13	0,19	0,24	0,14	0,12	0,28	0,19	0,32
Access 2,Queue	15,50	21,65	14,45	8,48	14,70	8,51	10,77	6,16	6,18	6,24	9,12	17,61	9,24	17,44	6,66	9,16	16,84	7,64	10,31	4,46
Descarpe de Camiones patio 5,Queue	0,46	0,53	1,93	0,56	0,44	0,36	0,51	0,69	0,62	1,28	1,56	0,49	3,21	0,41	0,88	0,76	0,57	1,53	0,34	0,35
Descarpe de Camiones Patio Ancon,Queue	29,69	32,12	47,48	34,26	37,72	28,83	32,19	37,36	34,85	43,37	37,46	36,81	41,11	32,07	38,18	34,76	29,87	30,73	31,50	33,39
Entrega de remesas,Queue	79,74	79,85	67,38	76,93	74,68	79,97	79,61	76,25	77,06	71,49	72,16	75,66	70,80	79,11	74,30	76,49	81,69	79,73	79,70	78,23
Hold 1,Queue	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hold 2,Queue	7,40	14,85	3,47	33,89	5,19	3,29	2,96	4,28	1,81	1,16	0,98	7,68	1,82	9,57	2,66	1,30	6,27	7,63	1,82	0,54
Lavado de Camiones,Queue	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Limpieza de Compuertas Patio 5,Queue	1,91	3,02	3,17	2,44	1,84	1,73	1,22	0,81	1,44	0,94	0,71	2,86	1,59	3,89	1,18	0,75	2,04	2,70	0,91	0,62
Limpieza Patio Ancon,Queue	2,26	3,41	3,77	3,47	2,13	1,86	1,45	1,13	1,58	1,01	0,81	3,43	1,73	4,68	1,42	0,87	2,53	3,33	1,08	0,64
Volcador 1 Patio 5,Queue	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Volcador 1 Patio Ancon,Queue	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Volcador 2 patio 5,Queue	0,53	0,81	0,66	0,46	0,47	1,11	0,35	0,58	0,43	1,50	0,34	0,50	0,36	0,41	0,80	0,50	0,41	0,70	0,40	1,19
Volcador 2 patio ancon,Queue	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

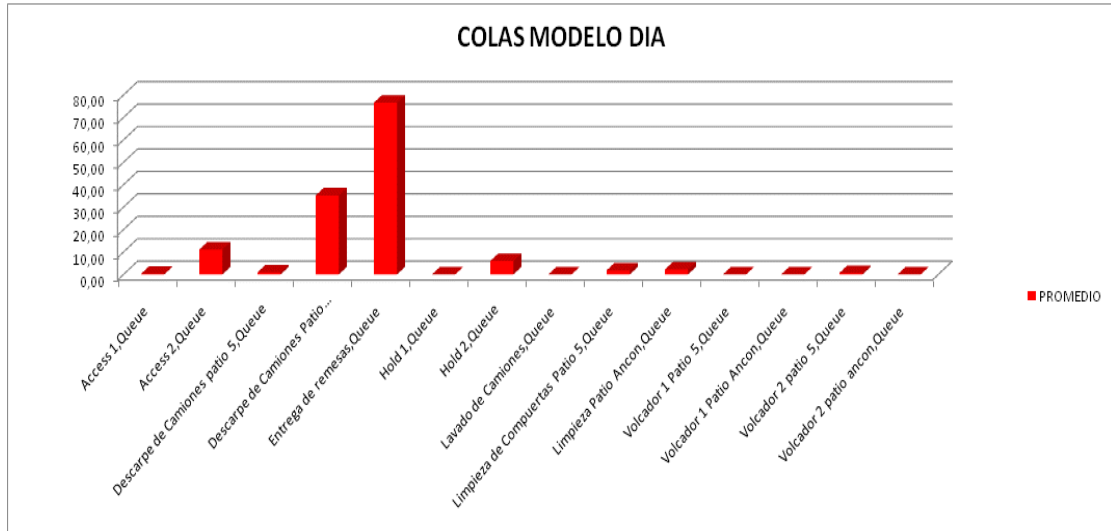
Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 80. Tiempos de Colas Modelo Noche (min).

COLAS MODELO NOCHE.	Waiting Time (Replicas)																			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Access 1,Queue	0,19	0,24	0,34	0,58	0,51	0,44	0,23	0,25	0,18	0,37	0,31	0,22	0,17	0,20	0,28	0,21	0,36	0,26	0,52	0,31
Access 2,Queue	0,81	2,06	0,89	1,49	1,53	1,33	1,19	0,88	1,93	1,09	2,54	1,02	1,78	0,56	1,27	1,05	0,90	1,22	1,14	4,23
Descarpe de Camiones patio 5,Queue	75,27	74,93	75,62	74,17	73,72	77,74	76,42	73,42	74,76	74,33	76,47	72,71	77,35	77,35	74,28	71,22	72,65	74,26	77,27	74,39
Descarpe de Camiones Patio Ancon,Queue	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04	0,03	0,04	0,04	0,03	0,04	0,03	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
Entrega de remesas,Queue	72,97	73,69	74,37	73,47	73,76	74,41	73,88	74,12	74,52	74,57	72,96	74,23	73,75	73,65	74,70	74,56	75,03	74,28	73,37	73,42
Hold 1,Queue	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Hold 2,Queue	1,10	5,04	1,69	2,20	2,38	1,84	1,79	0,92	2,97	1,40	4,19	1,28	2,02	0,58	2,63	1,45	1,82	1,38	1,79	5,02
Lavado de Camiones,Queue	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Limpieza de Compuertas Patio 5,Queue	0,25	0,56	0,27	0,55	0,54	0,35	0,35	0,28	0,51	0,26	0,54	0,25	0,45	0,18	0,37	0,34	0,27	0,34	0,38	1,08
Limpieza Patio Ancon,Queue	0,38	0,87	0,40	0,75	0,77	0,55	0,52	0,37	0,82	0,40	0,90	0,40	0,73	0,26	0,55	0,44	0,41	0,49	0,52	1,71
Volcador 1 Patio 5,Queue	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Volcador 1 Patio Ancon,Queue	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Volcador 2 patio 5,Queue	0,37	0,76	0,69	1,10	0,99	1,11	0,60	0,42	0,44	0,65	0,56	0,40	0,46	0,45	0,63	0,54	0,76	0,36	0,62	0,79
Volcador 2 patio ancon,Queue	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

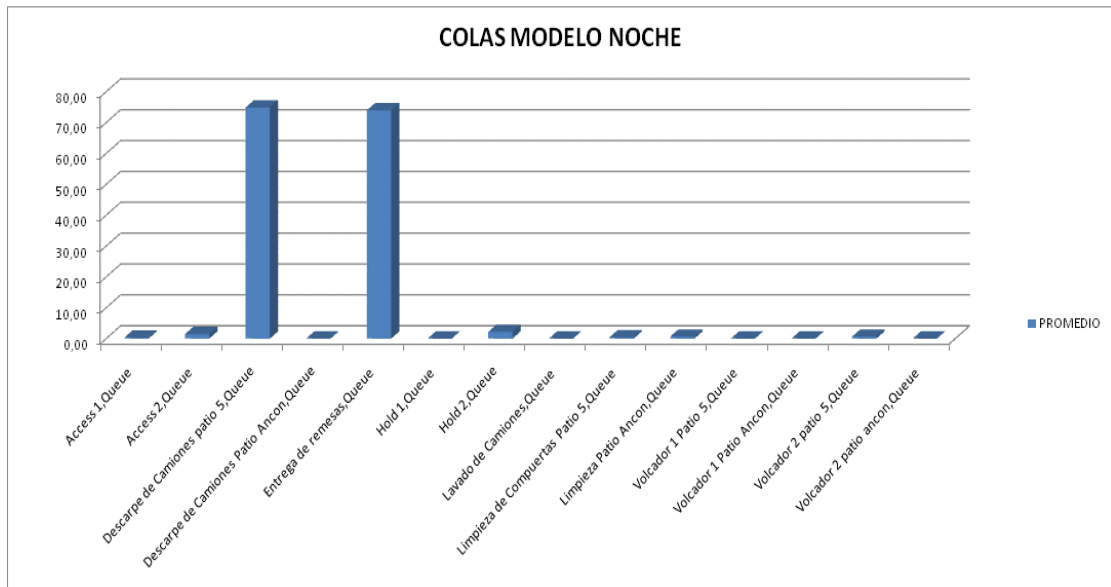
Fuente: Investigadores (2009).

Figura 92. Colas Modelo Día.



Fuente: Investigadores (2009).

Figura 93. Colas Modelo Noche.



Fuente: Investigadores (2009).

7. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD OPERATIVA.

Debido a que el objeto de interés del presente trabajo de investigación está encaminado a analizar la utilización de la capacidad operativa de la operación de descargue de carbón por tractomulas se tomaron para ello los reportes de los Recursos (Resources) de la simulación, estos reportes sirvieron de marco de referencia para determinar en qué medida se está aprovechando la capacidad instalada de los volcadores e identificar las causas que originan un no aprovechamiento de la misma. El análisis se vio complementado con los reportes de las toneladas descargadas (user especific) y las colas (queues) que nos brindarán herramientas para completar este proceso. Estos reportes son el resultado del modelo de simulación presentado el cual tuvo una duración (longitud de la corrida) de 30 días, y al cual se realizaron 20 repeticiones de las cuales se obtuvieron los resultados necesarios para el análisis.

Al observar los promedios calculados de los datos de los reportes de los Recursos (Resources) (Tablas 73 y 74) podemos notar que para el modelo “carbón día” los valores promedio oscilan entre un 14,367% y un 25,692% mientras que para el modelo “carbón noche” los valores promedio oscilan entre 11,321% y un 20,911% indicando que la utilización de los recursos-volcadores es inferior a la que teóricamente ofrece el sistema, podemos inferir entonces, que la empresa no está aprovechando su capacidad operativa y que se encuentra operando por debajo del 50% de su capacidad instalada.

En cuanto a las colas generadas en el sistema, pudimos observar que en ambos modelos las mayores colas se presentan en las actividades de *Entrega de remesa* y *Descarpe* constituyéndose éstas como actividades críticas que marcan el ritmo de las operaciones generando embotellamiento en el proceso de descargue, esta

situación se presenta en el sistema real tal y como se pudo constatar durante la observación de las operaciones.

Las causas del no aprovechamiento se debe a los siguientes factores los cuales fueron observados y afectan de forma significativa la eficiencia de este proceso:

- Entrada al puerto. El ingreso de las mulas cargadas se retrasa debido a que la entrada es limitada por la dimensión de la misma y solo permite la entrada de un vehículo cargado a la vez, cabe destacar que por esta misma entrada ingresan al puerto otros tipos de vehículos, tanto los particulares como los de otros tipos de carga.
- Conductores inexpertos. El descargue de carbón de las tractomulas en el Volcador de Patio 5 requiere la pericia de los conductores para maniobrar los vehículos y ubicarlos de forma adecuada en las plataformas de los Volcadores, esta operación sino es realizada por un conductor experto puede tomar tiempo adicional al establecido generando demoras y retrasos en la operación, lo cual se traduce en pérdida de tiempo y en un incremento de los costos para la empresa.
- Se encontró que en ocasiones se hace necesaria la interrupción de las operaciones debido a que se presentan dificultades ocasionadas por daños de tipo mecánico o eléctrico tales como rupturas de bandas, poleas y otros componentes; de la misma manera se presentan interrupciones del fluido eléctrico y de las aspersiones que requieren suspender las operaciones de los Volcadores para realizar las reparaciones a las que haya lugar.
- Se encontró que los tiempos de operación en las plataformas de los volcadores en ocasiones se extendían más de lo normal, ya que los operarios realizan

procedimientos innecesarios o en mayor tiempo del establecido ocasionando que el tiempo de operación total se incremente, estas acciones generan retrasos en el proceso ya que impiden que otros vehículos sean descargados.

- Variaciones en la demanda de vehículos despachados. Mientras que en ocasiones se puede presentar una gran afluencia de vehículos cargados al puerto incrementando la demanda por el contrario se puede presentar eventos de poca demanda, esto se debe prever de alguna forma para no incurrir en la generación de costos adicionales por la puesta en marcha del sistema de forma innecesaria. En ocasiones, no es fácil entender de modo claro qué se permite o no hacer para tomar la decisión más acertada, es decir, el jefe de operaciones a cargo haciendo uso de su criterio determina cuando hacer requerimientos de vehículos cargados, pero estas actividades tan importantes necesitan más que criterio personal para su ejecución, se requiere ser organizados y contar con pronósticos de demanda que le permitan al encargado tomar decisiones basados en información veraz y real, analizada y consecuente con la implementación de otros sistemas de gestión que adelante la empresa.

7.1 Escenarios de la simulación.

Arena nos entrega la capacidad de diseñar ambientes de simulación y nos da la posibilidad de crear diferentes escenarios, los cuales nos ayudan a la toma de decisiones en la empresa y al rediseño de los procesos que allí se presenten.

Al realizar el análisis de la capacidad operativa de la empresa CARBOSAN Ltda. se evidenciaron colas significativas para los procesos de Descarpe de vehículos

en ambos patios las cuales podrían ser generadas debido al número de operarios que realizan esta operación, de igual forma se encontraron dentro del sistema fallas de tipo Control que podrían disminuir capacitando al personal para evitar que estas ocurran con frecuencia.

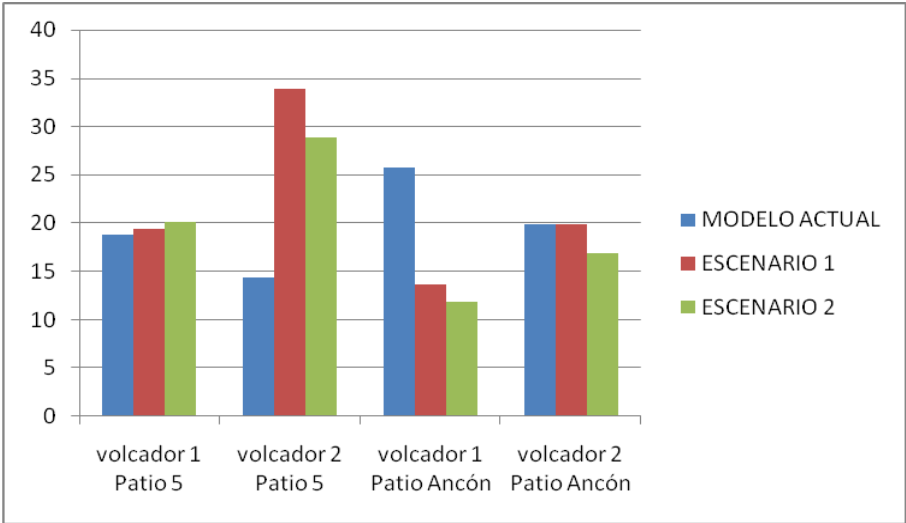
Luego de generar los dos posibles escenarios (Escenario 1: asignar 2 recursos-operarios en la actividad de Descarpe; Escenario 2: eliminar las fallas de control de las plataformas) en los cuales se realizaron modificaciones producto del análisis de la capacidad actual de la empresa (Anexos 7 y 8) se pudo observar lo siguiente:

Tabla 81. Promedios de porcentajes de utilización de volcadores Modelo día (mes).

PROMEDIOS DE PORCENTAJES DE UTILIZACIÓN DE VOLCADORES DIA.			
	MODELO ACTUAL	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
Volcador 1 Patio 5.	18,814	19,399	20,110
Volcador 2 Patio 5.	14,367	33,923	28,866
Volcador 1 Patio Ancón.	25,692	14,709	13,802
Volcador 2 Patio Ancón.	19,832	19,869	17,9315

Fuente: Investigadores (2009).

Figura 94. Gráficas comparativas de los tres modelos para porcentajes de utilización de volcadores (mes).



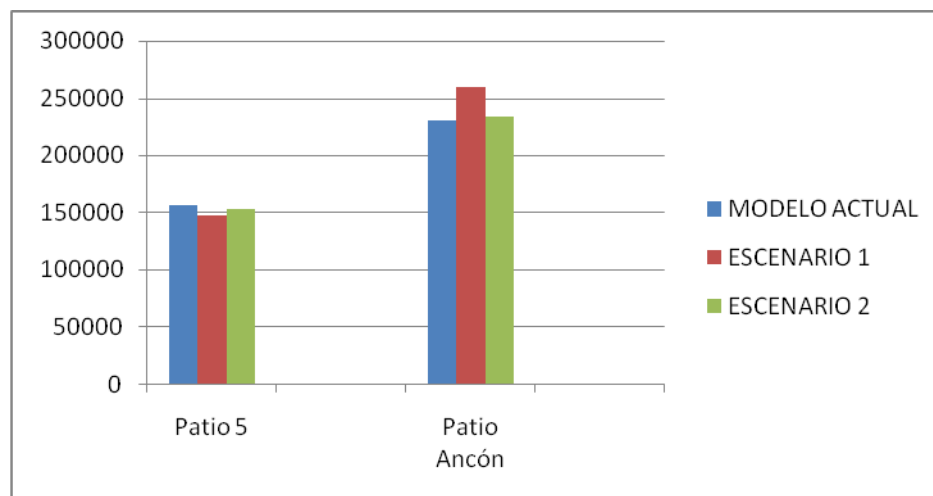
Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 82. Promedios de cantidades de toneladas descargadas Modelo día (mes).

PROMEDIOS DE CANTIDADES DE TONELADAS DESCARGADAS DIA.		
	Patio 5	Patio Ancón.
MODELO ACTUAL	155904	230000
ESCENARIO 1	157336	259180
ESCENARIO 2	163009	253409

Fuente: Investigadores (2009).

Figura 95. Gráficas comparativas de los tres modelos para promedios de toneladas descargadas Modelo día (mes).



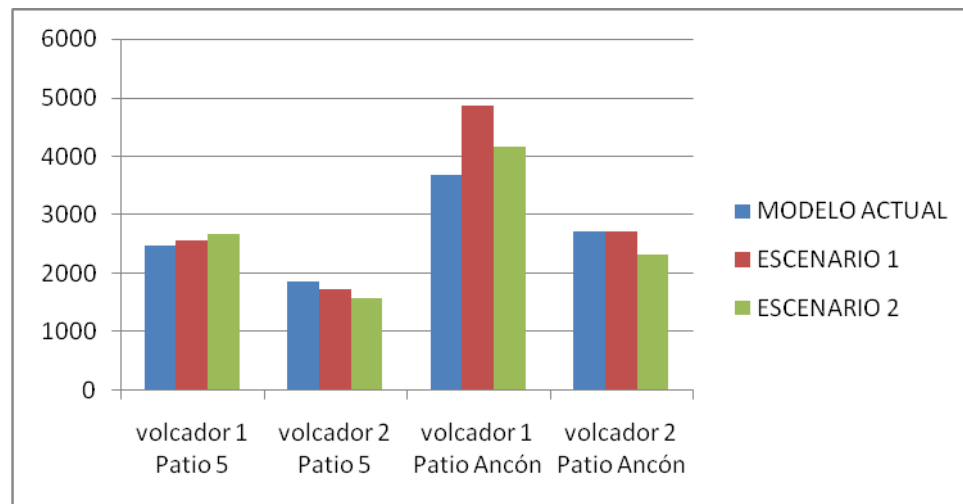
Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 83. Promedios de vehículos descargados modelo día (mes).

PROMEDIOS DE VEHICULOS DESCARGADOS DIA.			
	MODELO ACTUAL	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
Volcador 1 Patio 5	2482	2560	2665
Volcador 2 Patio 5	1853	1940	1885
Volcador 1 Patio Ancón.	3681	4870	4167
Volcador 2 Patio Ancón.	2708	2713	2817

Fuente: Investigadores (2009).

Figura 96. Gráfica comparativas de los tres modelos para cantidad de vehículos descargados Modelo día (mes).



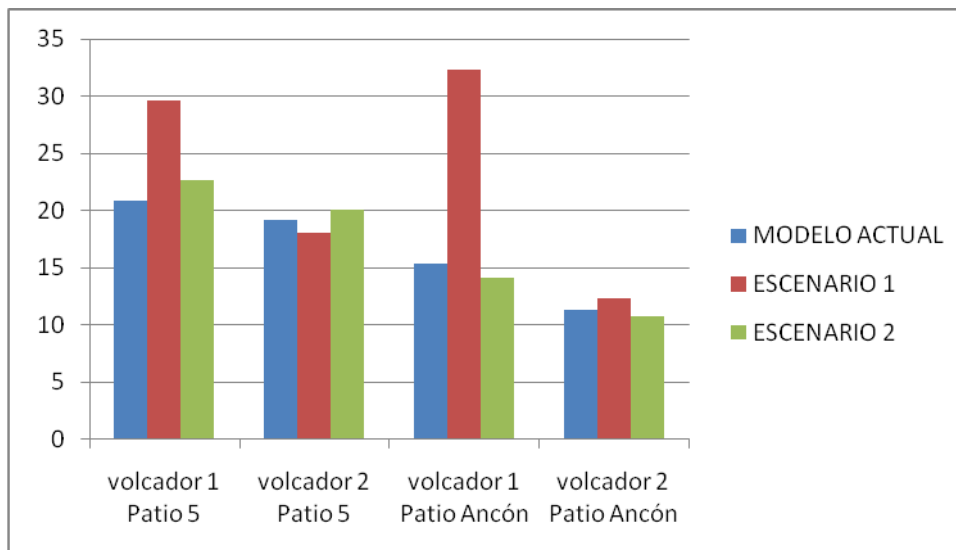
Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 84. Promedios de porcentajes de utilización de volcadores Modelo noche (mes).

PROMEDIOS DE PORCENTAJES DE UTILIZACIÓN DE VOLCADORES NOCHE.			
	MODELO ACTUAL	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
Volcador 1 Patio 5	20,911	29,588	22,667
Volcador 2 Patio 5	19,135	18,059	20,051
Volcador 1 Patio Ancón.	15,343	32,287	14,132
Volcador 2 Patio Ancón.	11,321	12,359	10,762

Fuente: Investigadores (2009).

Figura 97. Gráficas comparativas de los tres modelos para porcentajes de utilización de volcadores modelo noche (mes).



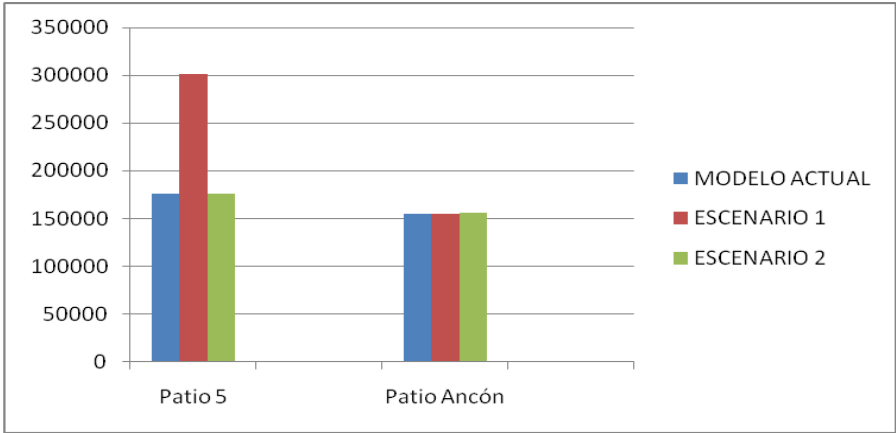
Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 85. Promedios de cantidades de tonelada descargadas Modelo noche (mes).

PROMEDIOS DE CANTIDADES DE TONELADAS DESCARGADAS NOCHE.		
	Patio 5	Patio Ancón.
MODELO ACTUAL	175914	154985
ESCENARIO 1	300772	155023
ESCENARIO 2	175864	156079

Fuente: Investigadores (2009).

Figura 98. Gráficas comparativas de los tres modelos para promedios de toneladas descargadas modelo noche (mes).



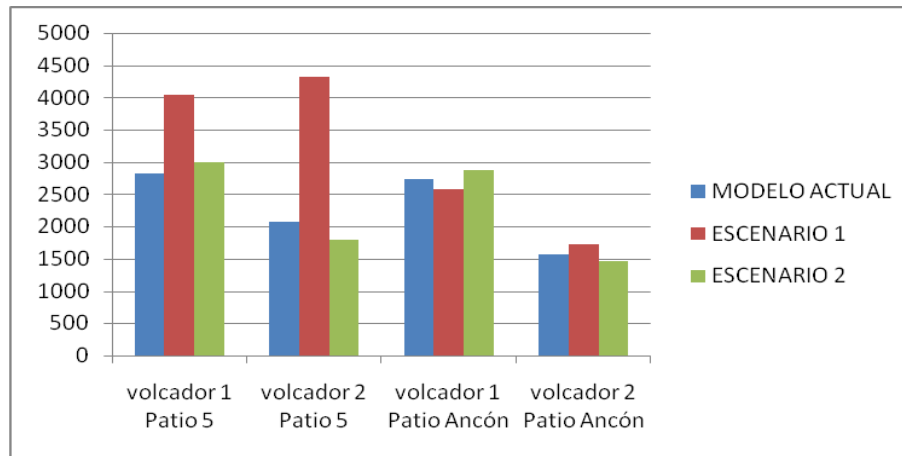
Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 86. Promedio de vehículos descargados modelo noche (mes).

PROMEDIOS DE VEHICULOS DESCARGADOS NOCHE			
	MODELO ACTUAL	ESCENARIO 1	ESCENARIO 2
Volcador 1 Patio 5	2821	4046	3002
Volcador 2 Patio 5	2069	4315	1797
Volcador 1 Patio Ancón.	2740	2584	2876
Volcador 2 Patio Ancón.	1566	1722	1459

Fuente: Investigadores (2009).

Figura 99. Gráficas comparativas de los tres modelos para cantidad de vehículos descargados modelo noche (mes).



Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 87. Tiempos promedios de colas escenario 1 modelo día (min).

TIEMPOS PROMEDIOS DE COLAS MODELOS DIA (Min).			
COLAS	MODELO ACTUAL DIA	MODELO ESCENARIO 1 DIA	MODELO ESCENARIO 2 DIA
Access 1,Queue	0,23	0,31	0,20
Access 2,Queue	11,05	0,24	4,88
Descarpe de Camiones patio 5,Queue	0,87	0,01	0,60
Descarpe de Camiones Patio Ancon,Queue	35,18	0,01	31,68
Entrega de remesas,Queue	76,54	77,89	78,79
Hold 1,Queue	0	0,00	0,00
Hold 2,Queue	5,9285	1,84	0,44
Lavado de Camiones,Queue	0	0,00	0,00
Limpieza de Compuertas Patio 5,Queue	1,78	0,51	0,51
Limpieza Patio Ancon,Queue	2,12	1,08	0,55
Volcador 1 Patio 5,Queue	0	0,00	0,00
Volcador 1 Patio Ancon,Queue	0	0,00	0,00
Volcador 2 patio 5,Queue	0,62	0,62	0,52
Volcador 2 patio ancon,Queue	0	0,00	0,00

Fuente: Investigadores (2009).

Tabla 88. Tiempos promedios de colas escenario 1 modelo noche (min).

TIEMPOS PROMEDIOS DE COLAS MODELOS NOCHE (Min).			
COLAS	MODELO ACTUAL NOCHE	MODELO ESCENARIO 1 NOCHE	MODELO ESCENARIO 2 NOCHE
Access 1,Queue	0,30	0,68	0,29
Access 2,Queue	1,44	1,36	0,34
Descarpe de Camiones patio 5,Queue	74,91	0,06	4,69
Descarpe de Camiones Patio Ancon,Queue	0,03	0,00	0,04
Entrega de remesas,Queue	73,98	74,17	74,00
Hold 1,Queue	0	0,00	0,00
Hold 2,Queue	2,17	2,29	0,32
Lavado de Camiones,Queue	0	0,00	0,00
Limpieza de Compuertas Patio 5,Queue	0,40	8,83	0,16
Limpieza Patio Ancon,Queue	0,612	8,94	0,19
Volcador 1 Patio 5,Queue	0	0,00	0,00
Volcador 1 Patio Ancon,Queue	0	0,00	0,00
Volcador 2 patio 5,Queue	0,63	0,79	0,56
Volcador 2 patio ancon,Queue	0	0,00	0,00

Fuente: Investigadores (2009).

8. CONCLUSIONES.

- El presente proyecto de investigación presenta un modelo de simulación que recrea bajo la configuración actual del sistema, la operación de descargue de carbón por tractomulas; los resultados obtenidos indican que la capacidad operativa del sistema no está siendo aprovechada y por consiguiente utilizada, como se puede ver al observar las tablas 73 y 74 y el numeral 7 *“Análisis de la capacidad Operativa”* que nos muestra porcentajes promedio de utilización de los recursos-volcadores. Allí el modelo “carbón día” nos arroja un promedio de utilización de volcadores por mes del 19,67% y el modelo “carbón noche” nos arroja un promedio de utilización de volcadores de 16,67% descargando en promedio 192.952 toneladas para el modelo “carbón día” y 165.450 toneladas para el modelo “carbón noche”.
- Se observo que al realizar cambios (modificaciones) que a simple vista resultan poco significativas tales como asignar 2 recursos-operarios en la actividad de Descarpe (escenario 1) y eliminar las fallas de control como resultado de un plan de capacitación impartido a los operarios involucrados con estos tipos de fallas (escenario 2), lo cierto es que impactan de manera significativa; tal como se puede observar en las gráficas 95 a 99 y en las tablas 82 a 86 , en la mayoría de los casos se evidencia un aumento en la utilización de los recursos-volcadores, un aumento en las toneladas descargadas y por consiguiente en la cantidad de vehículos atendidos por mes.
- Los resultados de la simulación indican que el en el proceso de Descarpe se generan colas que marcan el ritmo de la operación, tal y como sucede

en la realidad, sería importante considerar la posibilidad de reforzar los recursos asignados a esta actividad de modo que hayan los operarios necesarios para atender las cantidades de vehículos que llegan y generan la cola esperando a ser atendidos, es por ello que se consideró la posibilidad de asignar 2 recursos-operarios adicionales con el fin de optimizar la actividad y agilizar la actividad siguiente (descargue), al realizar esta modificación, se puede observar que se reduce notablemente la cola y como consecuencia de ello, en la mayoría de los casos aumentan el porcentaje de utilización de los recursos-volcadores, la cantidad de vehículos atendidos y por consiguiente la cantidad de toneladas de carbón descargadas, esta reducción en la cola del Descarpe se puede evidenciar en las tablas 87 y 88.

- CARBOSAN LTDA tiene ante sí la oportunidad de aprovechar su máxima capacidad operativa y quedo demostrado al simular el modelo de la operación de descargue de carbón, este modelo soportó el análisis de la capacidad operativa en ésta operación y confirmó que la empresa se encuentra operando muy por debajo de su capacidad instalada lo cual si se aprovechara al menos en un 50% sobre el total de la capacidad ofrecería mayor de oportunidad de rentabilidad.
- Con el análisis de los resultados de la simulación del modelo diseñado, se evidenció que la empresa no tiene problemas a gran escala con la demanda actual manejada con los clientes permanentes (Glencore/CCC), esta se puede manejar de acuerdo a los parámetros establecidos por ellos debido al volumen que hasta ahora se han venido presentado, sin embargo, se puede observar también que son los clientes los que determinan el ritmo de la operación en función de las necesidades de exportación de carbón que tengan previstas.

- Mediante el presente proyecto de investigación se aportan evidencias en el sentido de que la simulación es una herramienta valiosa para diseñar los futuros escenarios en los que se puede desempeñar un sistema, si bien para este proyecto se utilizó para recrear las condiciones actuales de la organización y su actividad, el modelo nos brinda la oportunidad de recrear posibles escenarios de acuerdo a nuevas reglas de juego y diferentes condiciones de operación. La simulación nos motiva a utilizar todas sus bondades en el desarrollo de modelos que permitan la detección de posibles problemas futuros sin necesidad de incurrir en ellos para tomar las medidas preventivas y correctivas del caso.
- Los resultados sugieren que Arena es una poderosa herramienta de simulación, que nos provee de un entorno atractivo e interesante para recrear procesos reales que sirven de apoyo para la toma de decisiones.

9. RECOMENDACIONES.

Al observar las operaciones de la empresa y al analizar los resultados arrojados por el modelo simulado, nos permitimos realizar las siguientes recomendaciones a la empresa CARBOSAN LTDA:

- Ejecutar a futuro el diseño del modelo de simulación del proceso de descargue de carbón en el software Arena[®] ampliado a todo el proceso incluyendo las actividades desde los parqueaderos externos así como también el cargue de buques para tener una visión más amplia de las operaciones y poder simular de forma más completa e integral el sistema, de modo que se puedan obtener mejores resultados en función de las nuevas condiciones y configuraciones asignadas, esto sería de gran provecho para la empresa ya que les permitiría recrear las operaciones a lo largo de la cadena de abastecimiento y obtener resultados sin necesidad de dirigirse a campo o de realizar cambios sin antes medir el impacto que estos podrían tener sobre el sistema, de la misma manera se podría incluir en estudios posteriores con el modelo planteado los costos (directos e indirectos) de operación para estimar cuánto costaría a la empresa realizar cambios y hasta estimar cantidades de dinero que la empresa está dejando de recibir debido a la inactividad del sistema por los múltiples factores que se han expuesto en este proyecto de Investigación.
- En los casos en que haya mucha afluencia de vehículos para ser descargados se puede asignar 2 operarios adicionales a la actividad de Descarpe de vehículos con el fin de disminuir la cola generada en esta actividad y agilizar la operación de descargue en los volcadores dado que se pudo identificar esta actividad como una de las más críticas dentro del

sistema en cuanto a la generación de colas, marcando así el ritmo de las operaciones.

- Establecer y unificar criterios para la solicitud de vehículos a los Parqueaderos externos ya que como sabemos en la actualidad cada Jefe de Cuadrilla (Jefe de Operaciones) solicita según criterio propio las cantidades de vehículos en lapsos de tiempos no regulares. De la misma manera, sería importante dejar evidencia de esta actividad en formatos donde quede registrado las cantidades y los tiempos de solicitud de vehículos para ser descargados.
- Para el aumento del aprovechamiento de la capacidad de descargue de los volcadores se hace necesario ejecutar e implementar correctamente los planes de mantenimiento preventivo y predictivo que permitan anteponerse a las fallas técnicas, eléctricas o mecánicas en el sistema, ya que debido a ellas se presenta una gran inactividad que limita el aprovechamiento de los recursos-volcadores el cual se refleja en suspensiones de las operaciones.
- Considerar la posibilidad de automatizar aún más el sistema ya que muchos de las fallas y daños al mismo son efectuados por intervención del personal de trabajo, si bien es sabido que el personal es un recurso invaluable para toda las organizaciones también es cierto que si no se dispone de personal capacitado, diligente y con alto sentido de responsabilidad y pertenencia en ocasiones resulta más conveniente reemplazar éste con el fin de disminuir la ocurrencia de accidentes e incidentes en el sistema.

10.LIMITACIONES DE LA INVESTIGACIÓN.

Durante el desarrollo del presente proyecto de investigación encontramos ciertas restricciones o limitantes que influyeron en cierta forma sobre el resultado final de la investigación, por lo cual fue necesario realizar en ocasiones cambios o reajustes:

- Inicialmente la programación del modelo de simulación se realizó con la versión estudiantil de Arena 10.0, lo cual limitó el uso de módulos, complementos y figuras para el montaje, ya que la versión estudiantil de Arena solo permite que interactúen 150 entidades entre los módulos de un mismo modelo lo cual finalmente limitó las corridas de la simulación, esta situación retrasó el proceso; por lo cual se hizo necesario programar nuevamente el modelo en la versión profesional de Arena 12.0, (una versión más avanzada de este software) del cual la Universidad del Magdalena dispone de licencia de Versión profesional.
- En la mayoría de las ocasiones se dificultó la toma de los datos de tiempos, debido a que el flujo de operación no era constante y muchas veces los volcadores quedaban sin vehículos para descargar imposibilitando recoger más datos, lo cual implicaba volver reiteradas veces para lograr obtener la cantidad de datos que se requería para grupo de datos.
- Por razones de seguridad la empresa limitó el préstamo de los documentos; los tiempos de respuesta fueron muy extensos y la tramitología realizada fue excesiva para poder acceder a los documentos e información de procedimientos de operación, tiempos de operaciones y toda la información de relevancia para el proyecto con la que contaba la empresa; sólo en los últimos días del desarrollo de la investigación la empresa accedió al préstamo de la información.

11. BIBLIOGRAFÍA.

- **Aracil, J. (1983).** *"Introducción a la dinámica de sistemas"*. Editorial Alianza. Madrid. Pág. 18
- **Autoridad del canal de Panamá. (2006).** *Informe Final: Simulación y Análisis de Capacidad del Canal de Panamá. Evaluación de la Capacidad del Canal Bajo Distintos Escenarios Operativos y de Inversión.* Revisión: Marzo 15 de 2006.
- **Bateman, R.; Bowden, R.; Gogg, T.; Harrell, Ch.; Mott, J. (1997).** *System improvement using simulation.* Promodel Corporation, Utah, USA: 1-173.
- **CARBOSAN LTDA. (2007).** *Memorias Seminario "Sistemas de Gestión Ambiental" Proyecto de Cargue directo de Carbón, Santa Marta, Colombia.*
- **CARBOSAN LTDA. (2008).** *Procedimiento Operativo "RECIBO DE CARBÓN Y DESCARGUE DE CAMIONES" CODIGO PO-OPS-203.* Versión 5. Santa Marta, Colombia.
- **Consejo Nacional de Política Económica y Social - COMPES. (2008).** *Documento 3540: "Estrategia para la optimización y modernización del transporte de carbón por los puertos marítimos del municipio de Ciénaga y la bahía Santa Marta"*. Bogotá, Colombia.
- **Donoso P., Macarena. (2003).** *Presentación Simulación de Procesos Industriales.* Santiago de Chile.

- **Dorado, Christian.** *Monografía “Simulación de Sistemas”*. Disponible en: [<http://www.monografias.com/trabajos20/simulacion-sistemas/simulacion-sistemas.shtml>]. Visitado 9 de septiembre de 2007.
- **Fábregas, Aldo; Wadnipar, Rodrigo; Paternina, Carlos; Mancilla, Alfonso. (2003).** *Simulación de Sistemas Productivos con ARENA 10.0®*. Primera edición. Ediciones Uninorte, Barranquilla, Colombia.
- **Facultad de Ingeniería, Universidad de Buenos Aires.** *Documento Sistemas, modelos y simulación*. Buenos Aires, Argentina.
- **Fuentelsaz Gallego, Carmen. (2004).** *Documento Cálculo del tamaño de la muestra*, Barcelona España.
- **García, Luis; Giraldo, Gabriel; Mancilla, Alfonso. (2005).** *Manual de ARENA 8.0*. Bogotá, Colombia.
- **Gines, Carlos. (2002).** *Los modelos de simulación aplicados a la planificación portuaria*. Trabajo presentado durante el 1er SEMINARIO INTERNACIONAL DE PLANIFICACION Y DESARROLLO PORTUARIO, Buenos Aires, ARGENTINA.
- **James R., Back.** *Principios y análisis de decisión*. En: **Salvendy, Gabriel.** *Manual de Ingeniería Industrial*. Universidad de Iowa. Vol. II, capítulo 13.3. p.1014.
- **James R. Wilson.** *Simulación por computadora*. En: **Salvendy, Gabriel.** *Manual de Ingeniería Industrial*. Universidad de Texas. Vol. II, capítulo 13.11 p. 1179.

- **Londoño, Carlos A. (2002).** *Documento Capacidad de las operaciones.* México D.F.
- **Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2005).** *Documento Distritos Mineros: Exportaciones e infraestructura de Transporte.* Bogotá, Colombia.
- **Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2005).** *Documento “El carbón Colombiano fuente de energía para el mundo”.* Bogotá, Colombia.
- **Ministerio de Minas y Energía, Unidad de Planeación Minero Energética UPME. (2005).** *Documento “La Cadena del Carbón”.* Bogotá, Colombia.
- **Ministerio de Transporte. (2004).** *Documento “Sistema de Cargue Directo de Carbón”.* Bogotá, Colombia.
- **Orero Jiménez, Alejandro. (2006).** *Artículo “La simulación como apoyo a la optimización de procesos” Revista Fórum Calidad 171/06.*
- **Paz, Daniel (2008).** Conferencia “Cómo Mejorar la Gestión Portuaria Mediante Simulación”, <http://www.paragontechlogsis.com.ar/>
- **Pérez, César. (2002).** *Estadística Práctica con STATGRAPHICS.* Editorial Printence Hall. Madrid, España.
- **TAHA, Hamdy A.(2004)** *Investigación de Operaciones.* Séptima edición, Alfa Omega S.A., México D.F.,

- **Turban E., Aronson. (2001).** *Decision Support Systems and Intelligent Systems*, Upper Saddle River, N. J., Prentice Hall. J. E.
- **UPME; Ingeominas. (2007).** *Plan Nacional de Desarrollo Minero Visión 2019*. Bogotá, Colombia.

ENLACES WEB.

- <http://www.spsm.com.co/es/plano.asp#>, Visitado última vez 11 de mayo de 2009.
- <http://www.spsm.com.co/es/imagenes.asp#tp://www.spsm.com.co/es/fotos.asp>, Visitado última vez 11 de mayo de 2009.
- <http://www.spsm.com.co/es/ubicacion.asp>, Visitado última vez 11 de mayo de 2009.
- <http://www.paragontechlogsis.com.ar/>, Visitado última vez: 11 de mayo de 2009.
- <http://www.logsis.com.ar/>, Visitado última vez 11 de mayo de 2009.
- <http://www.webpicking.com>.
- <http://www.logsis.com.ar/puertos.php>, Visitado última vez 11 de mayo de 2009.
- <http://www.unamerida.com/archivospdf/337%20Lectura6.3.2.pdf>, VISITADO ÚLTIMA VEZ: 22 de Junio de 2009. 11:54 p.m.
- <http://www.bioestadistica.uma.es/libro/node150.htm>. VISITADO ULTIMA VEZ: 24 de junio de 2009-4:05 PM.

12. ANEXOS.

Anexo 1: Tiempos entre arribos. (Magnético).

Anexo 2: Tiempos de descargue de vehículos en volcadores. (Magnético).

Anexo 3: Manual de usuario para comprensión del modelo. (En este documento)

Anexo 4: Reportes Modelo Carbón Día. (Magnético).

Anexo 5: Reportes Modelo Carbón Noche. (Magnético).

Anexo 6: Modelos Simulación en Arena. (Magnético).

Anexo 7: Reportes Modelo Carbón Día. Ambos Escenarios. (Magnético).

Anexo 8: Reportes Modelo Carbón Noche. Ambos Escenarios. (Magnético).